Abhandlungen

zur

Physiologie der Gesichtsempfindungen

aus dem

physiologischen Institut zu Freiburg i. B.

Herausgegeben

von

J. von Kries.

Zweites Heft.

Mit Figuren im Text.



Leipzig.

Verlag von Johann Ambrosius Barth.

1902.

Die innere Paginirung bezieht sich auf die
Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, herausgegeben
von Ebbinghaus und König.

Inhalt.

Über die Farbenblindheit der Netzhautperipherie.

Von

J. von Kries.

(Freiburg i. Breisgau).

(Mit 3 Fig.)

Bei verschiedenen Gelegenheiten habe ich bereits angedeutet, dafs unter Zugrundelegung der neuerdings entwickelten Theorie von der Funktion der Netzhautstäbchen (resp. des Sehpurpurs) eine Frage von hervorragendem Interesse die sein wird, wie nun hiernach die Farbenblindheit der peripheren Netzhautzonen aufzufassen sein werde. Max Schultze hatte, wie bekannt, seine Annahme, dafs die Stäbchen nur zur Hervorrufung farbloser Helligkeitsempfindung befähigt seien, gerade auf das relative Übergewicht derselben in der Peripherie gegründet. Es war nahe gelegt, auch gegenwärtig die periphere Farbenblindheit aus einem gewissen Zurücktreten des farbentüchtigen Zapfenapparates gegenüber dem total farbenblinden Stäbchenapparat abzuleiten. Indessen konnte kaum übersehen werden, dafs eine Anzahl wohlbekannter und durch sorgfältige Untersuchung gesicherter Thatsachen dieser Auffassung entgegenzustehen schienen. Denn man hätte danach allenfalls ein etwa gleichmäfsiges Abblassen aller Farben nach der Peripherie hin erwarten und verstehen können. Wie aber sollten danach die auffälligen Veränderungen des Farbentons, wie die Existenz einer rotgrünblinden Zone begreiflich gemacht werden? Vom Standpunkt der Theorie aus erhob sich also die Frage, ob die Abweichungen des Farbensinnes an der Peripherie gegenüber dem Netzhautzentrum durch die Einmischung, schiefslich das Überwiegen des total farbenblinden Apparates erklärt werden können oder ob Modifikationen des farbentüchtigen Apparates angenommen werden müssen; in

letzterem Falle war es von besonderem Interesse zu erfahren, ob diese Modifikationen etwa z. T. identisch seien mit den bei der angeborenen partiellen Farbenblindheit bekannten.

Für die Untersuchungen war der theoretische Gesichtspunkt, den ich hier vorausgestellt habe, im Grunde nicht wesentlich. Auch hier, gerade wie bei den dichromatischen Farbensystemen, war die systematische und vollständige Untersuchung der physiologischen Lichtwirkungen, die allgemeine Beantwortung der Frage: „welche Lichter sehen gleich aus?", das nächste, auch ohne jeden theoretischen Ausblick klar vorgezeichnete Ziel. Nur für eine gewisse, meistens notwendige Auswahl aus der sehr grofsen Zahl sich hiernach darbietender Detailfragen, insbesondere auch für die sorgfältige Sonderung des hell- und des dunkeladaptierten Zustandes sind die aus der Theorie entnommenen Fingerzeige wesentlich geworden.

I. Die total farbenblinde Zone.

Als die erste und einfachste Aufgabe präsentiert sich die Untersuchung der total farbenblinden Zone. Nehmen wir als gegeben an, dafs eine solche existiert, und dafs also für sie zwischen ganz beliebigen Lichtern lediglich durch passende Regulierung ihrer Intensitäten Gleichungen hergestellt werden können, so erhebt sich hier ausschliefslich die Frage, in welchen Mengenverhältnissen die verschiedenen Lichter sich vertreten können, die Frage nach dem Helligkeitsverhältnis der Lichter verschiedener Wellenlängen oder der Helligkeitsverteilung in einem bestimmten Spektrum.

Zwei Arten eines derartigen Sehens sind uns bereits bekannt und in dieser Richtung untersucht: das Sehen des mit angeborener totaler Farbenblindheit behafteten und das „Dämmerungssehen" des normalen Sehorgans. Beide stimmen, wie als festgestellt gelten darf, in Bezug auf die Reizwerte verschiedener Lichtarten mit gröfster Annäherung überein. Es mufste demgemäfs auch ganz vorzugsweise die Frage interessieren, ob für die äufserste Netzhautperipherie ebenfalls die gleichen Verhältnisse bestehen und zwar war dies jedenfalls unabhängig für helladaptierten und für dunkeladaptierten Zustand zu prüfen.

Ich beginne mit der Darlegung der (aus selbstverständlichen Gründen weit mehr interessierenden) Beobachtungen, die sich

auf den helladaptierten Zustand und Anwendung relativ starker Lichtreize beziehen. Versuche dieser Art sind einerseits mit relativ einfachen Hilfsmitteln unter Benutzung farbiger Papiere und des Rothe'schen Farbenkreisels, sodann in einem etwas verwickelteren Verfahren mit homogenen Lichtern ausgeführt worden. In allen Fällen schlofs sich die Beobachtungsmethode der von Hering angegebenen und von Hess[1] beschriebenen an, welche, wie mir scheint, für die Untersuchung der Peripherie einen überaus grofsen Fortschritt bezeichnet hat. Dieselbe besteht bekanntlich darin, dafs hinter einem ersten mit einem Loch versehenen Schirm ein zweiter aufgestellt wird, von welchem letzteren somit ein kleiner Teil als Fleck, rings umgeben von dem anderen als Grund, sichtbar wird. Man beobachtet mit der gewünschten Exzentrizität durch Fixation einer passend angebrachten Marke; und die Beobachtung läuft darauf hinaus, durch Variierung der einen oder anderen Belichtung den ersten und den zweiten Schirm, d. h. also den Fleck und seine Umgebung, ganz gleich erscheinen zu lassen, in welchem Falle der Fleck aufhört sichtbar zu sein, verschwindet. Prinzipiell ist es gleichgiltig, ob man die Helligkeit des vorderen oder des hinteren Schirms variiert; doch ergeben sich gewisse Einschränkungen des Verfahrens aus der Absicht, quantitativ verwertbare Resultate zu erhalten, andererseits aus der der Methode anhaftenden Notwendigkeit einer vollkommen stetigen Helligkeitsveränderung.

Bei den ersten, mit farbigen Papieren angestellten Versuchen schlofs sich das Verfahren dem von Hering und Hess benutzten auch insofern an, als eine stetige Helligkeitsvariierung des Grundes durch D r e h u n g des anderen (dem Auge näheren) Schirmes angewandt wurde. Des Näheren war die Aufstellung folgende. Der Kopf des Beobachters war durch einen passenden Halter fixiert. Ihm gegenüber war in einem Abstand von etwa 25 cm ein mit hellgrauem Kartonpapier bespannter Rahmen aufgestellt. Dieser war um eine vertikale Achse drehbar. Beleuchtet wurde dieser Schirm überwiegend von einem zur Linken befindlichen Fenster, so dafs durch die Drehung des Rahmens die Helligkeit des Schirmes ausgiebig variiert wurde. Sie liefs sich

[1] Hess, Über den Farbensinn bei indirektem Sehen. *Arch. f. Ophthalm.* XXXV, 4, S. 1. 1889.

durch einen Schnurlauf handlich bewirken; ein über einer Kreisteilung spielender Zeiger gestattete die Ablesung der Einstellungen. Einigermafsen wichtig ist es, darauf zu achten, dafs auf den Schirm keine Schatten fallen; es waren aus diesem Grunde an den beiden anderen Fenstern des Zimmers die (mit Lichtschlitzen versehenen Läden) heruntergelassen. Das Zimmer war hellgestrichen, enthielt nirgends Gegenstände von intensiverer Färbung, so dafs eine nahe farblose, diffuse und für ziemlich starke Helladaptation ausreichende Beleuchtung gegeben war. Hinter einer in der Mitte des Schirmes angebrachten quadratischen Öffnung war ein Farbenkreisel aufgestellt, welcher für die Benutzung der Rothe'schen Scheiben eingerichtet, durch einen Elektromotor in hinreichend schnelle Rotation versetzt werden konnte. Der Kreisel war so gestellt, dafs die Ebene der Scheiben vom Fenster direktes, wenn auch nur ziemlich schräg auffallendes, Licht erhielt. Natürlich war darauf zu achten, dafs beim Wechseln der Scheiben die Stellung des Apparates genau unverändert blieb. Bringt man nun irgend eine farbige Scheibe auf den Kreisel, so erscheint sie hinter dem Loch des vorderen Schirmes, bildet also einen farbigen Fleck auf dem grauen Grunde. Beobachtet man mit stark abgewandtem Blick und zwar so, dafs der Fleck im nasalen Gesichtsfelde liegt, so wird er farblos und erscheint entweder hell oder dunkel. Bei vorsichtiger Drehung des vorderen Schirmes gelingt es mit grofser Genauigkeit die Stellung zu finden, bei der der Fleck verschwindet. Schon bei den ersten Orientierungsversuchen zeigte sich hier, dafs der „Peripheriewert", wenn ich mich dieses Ausdruckes bedienen darf, der roten Scheibe gröfser war als der der blauen; denn wenn der vordere Schirm auf Verschwinden des Blau eingestellt war und alsdann die blaue Scheibe durch die rote ersetzt wurde, so erschien der Fleck stets sehr deutlich hell; umgekehrt war blau zweifellos zu dunkel auf dem für Verschwinden des Rot eingestellten Schirm. Da bekannt war, dafs der Dämmerungswert des Blau fast 10fach gröfser als der des Rot war, so liefs sich schon hieraus mit Sicherheit abnehmen, dafs die Peripheriewerte im helladaptierten Auge nicht mit den Dämmerungswerten übereinstimmen.

Um zu einer vollständigeren und quantitativen Bestimmung zu gelangen, mufste, da die durch die Drehung des Schirms bewirkten Helligkeitsvariierungen nicht zahlenmäfsig bestimmt

sind, ein Umweg eingeschlagen werden. Sehr befriedigend erwies sich der folgende Modus procedendi. Es wurde zunächst mit einer blauen Scheibe eine Reihe von Einstellungen gemacht und zwar so, daſs von ihr Sektoren von 180° bis 270° je mit dem entsprechenden Teile eines tiefen Schwarz verwendet wurden. Indem für jede Sektorgröſse die zur Ausgleichung der Helligkeit erforderliche Einstellung des vorderen Schirms gesucht und notiert wurde, konnten für ein kleines Spatium dieser Einstellungen die Helligkeiten durch Interpolierung gefunden werden. Zur Bestimmung der anderen Farben wurde alsdann den betreffenden Scheiben zunächst eine solche Sektorgröſse gegeben, daſs die Einstellung des Schirms in diesen graduierten Bereich hineinfiel. Die Ausgleichung geschah demzufolge erst im groben durch Aufsuchung einer passenden Sektorgröſse, dann genau durch Drehung des vorderen Schirms innerhalb eines in allen Fällen übereinstimmenden kleinen Bereiches. Die Art der Berechnung ist so selbstverständlich, daſs es nicht nötig ist, darüber noch etwas hinzuzufügen.

Die Bestimmungen wurden in der angegebenen Weise mit einer Reihe farbiger Scheiben ausgeführt, für welche ich im Besitze von Helligkeitsbestimmungen einer total Farbenblinden war; diese letzteren können bekanntlich zugleich als Bestimmungen des „Dämmerungswerts" für das normale Sehorgan gelten. In der folgenden Tabelle stelle ich die von mir ermittelten Peripheriewerte und die für das Sehorgan der total Farbenblinden gefundenen Reizwerte zusammen, beide so berechnet, daſs die Helligkeit derselben blauen Scheibe = 1 gesetzt ist.

	Peripheriewert	Dämmerungswert
Rot	1,35	0,11
Orange	4,03	0,45
Gelb	6,78	2,2
Grün	4,92	2,2
Blaugrün	3,87	2,34
Violett	0,86	0,7
Blaurot	1,04	0,3

Man sieht nun sogleich, daſs von einem Parallelgehen beider Wertreihen gar keine Rede ist. Insbesondere ist die für die total Farbenblinden wie für das Dämmerungssehen so charak-

teristisch starke Unterwertigkeit des Rot hier in der helladaptierten Peripherie in ähnlicher Weise gar nicht zu bemerken. Für Rot und Orange betragen die Peripheriewerte das 9—12fache von den Dämmerungswerten.

Natürlich wird auf die quantitative Seite der eben mitgeteilten Ergebnisse kein gar zu grofses Gewicht zu legen sein. Denn da die Tagesbeleuchtung nicht als eine qualitativ stets gleichartige betrachtet werden kann, so müssen auch die Helligkeitsverhältnisse verschiedener farbiger Scheiben in Tagesbeleuchtung einigermafsen variabel ausfallen, was denn der directe Versuch auch bestätigt. Immerhin wird nicht daran zu denken sein, dafs Unterschiede so gewaltiger Beträge, wie wir sie hier finden, auf derlei Schwankungen zurückgeführt werden könnten.

Zur Gewinnung von numerisch zuverläfsigen und allgemein vergleichbaren Resultaten war es erforderlich, Bestimmungen der Peripheriewerte mit homogenen Lichtern auszuführen. Da auch hierbei von dem Prinzip der Hering'schen Methode jedenfalls

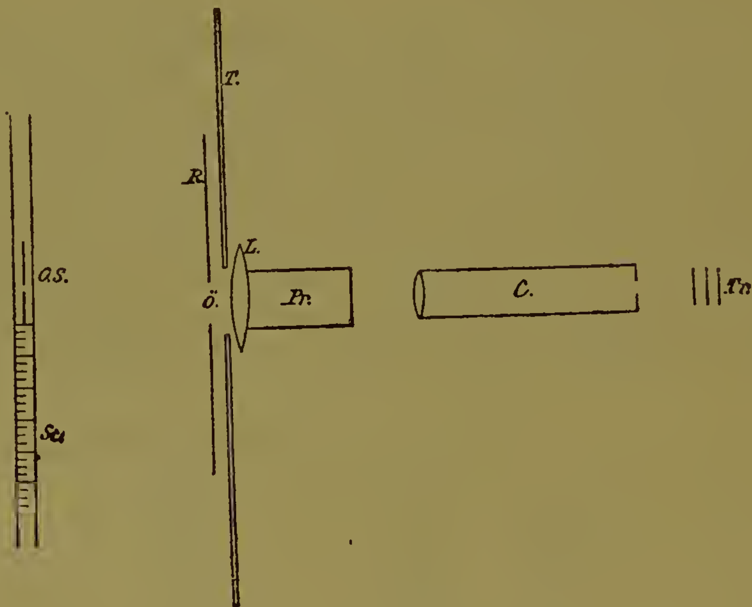


Fig. 1. Versuchsanordnung: Erläuterung im Text.

nicht abgegangen werden konnte, so war das gegebene Verfahren ein derartiges, dafs die in einem vorderen Schirm angebrachte Öffnung successiv mit verschiedenen homogenen Lichtern erleuchtet und jedesmal die Ausgleichung der Helligkeit bei hin-

reichend exzentrischer Beobachtung bewirkt wurde. Im einzelnen gestaltet sich die Einrichtung so, wie aus der Skizze in Fig. 1 ersichtlich ist. Das (dem grofsen HELMHOLTZ'schen Farbenmischapparat entnommem) Kollimator-Rohr (*C*) war in einem verdunkelten Zimmer nahe der in ein anderes Zimmer führenden Thür *T* aufgestellt. Der Spalt wurde durch den auch bei unseren sonstigen Untersuchungen benutzen Triplex-Brenner (*Tr*) erleuchtet. In der Thür befand sich ein rundes Loch von ca. 3 cm Durchmesser. Hinter diesem war auf der Seite des Dunkelzimmers eine Objektivlinse *L* und ein gradsichtiges WERNICKE'sches Flüssigkeitsprisma (*Pr*) aufgestellt. Auf diese Weise wurde in dem Nebenzimmer, etwa 90 cm von der Fläche der Thür ein reelles Spektrum entworfen. An dieser Stelle befand sich eine passend geformte, geschwärzte Messingplatte mit schmalem vertikalen Okularspalt (*OS*), welcher auf einem der Ebene der Thür parallelen Messingstab *St* in Schlittenführung verschieblich war. Der Stab trug eine Millimeterteilung, so dafs die Stellungen des Okularspalts abgelesen und nach Wunsch gewählt werden konnten. In demselben Zimmer war schliefslich nahe der Thür ein mit weifsem Kartonpapier bezogener Rahmen (*R*) aufgestellt, mit einer der Mitte der Linse entsprechenden runden Öffnung (*Ö*). Bei dieser Einrichtung sieht das hinter den Okularspalt gebrachte Auge die runde Öffnung als einen mit demjenigen homogenen Lichte erleuchteten Fleck, welches der Okularspalt aus dem Spektrum ausschneidet. Dieser Fleck ist rings umgeben von dem Weifs des Papiers. Um die Ausgleichung der Helligkeit zu erhalten, auf welche es auch hier wieder ankam, war es erforderlich zunächst die Beleuchtung im Beobachtungszimmer auf eine geeignete Weise zu regulieren. Gewöhnlich war es passend, von den beiden grofsen der erwähnten Thür gegenüberliegenden und nach Norden gehenden Fenstern das eine zu verdunkeln, da bei Anwendung der vollen hier erreichbaren Tagesbeleuchtung die zu erzielende Helligkeit der spektralen Lichter nicht ausgereicht hätte. Selbst bei dieser schon etwas reduzierten Helligkeit konnte die Untersuchung nicht auf kleinere Wellenlängen als 513 $\mu\mu$ erstreckt werden. Doch mochte ich die Helligkeiten (aus alsbald zu erwähnenden Gründen) nicht niedriger wählen; auch war der Bereich vom roten Ende des Spektrums bis 513 $\mu\mu$ genügend, um die hauptsächlich interessierenden Thatsachen vollkommen klarzustellen. Die eigentliche Einstellung erfolgte

dann durch die Variierung der Spaltweite und zwar mittels eines durch die Thür hindurch geführten Schnurlaufs. Es genüge anzuführen, dafs ein um die betr. Scheibe am Kollimator umgelegte Schnur durch eine kleine Öffnung an der Thür zum Beobachtungstisch lief; dort gingen ihre beiden Enden über kleine Röllchen und waren durch angehangene Gewichte mäfsig angespannt.

Zu beachten ist bei einer derartigen Aufstellung, dafs in der Öffnung des Schirmes keine anderen, als die von dem Kollimatorspalt herrührenden Lichter gesehen werden. Mit absoluter Strenge ist dies selbstverständlich nicht zu erreichen, weil die Oberfläche der Linse stets das aus dem Beobachtungszimmer auf sie fallende Licht zum Teil reflektiert. Indessen genügte es, bei der stets grofsen Helligkeit des spektralen Lichtes, dafür Sorge zu tragen, dafs nicht ein Spiegelbild des hellen Fensters in der Öffnung erblickt werden konnte. Dies war bei der benutzten Aufstellung schon dadurch vermieden, dafs das seitlich gelegene Fenster durch den Schirm selbst von der Linse abgeblendet war. Als Licht aussendende Gegenstände, deren in der Linse gespiegelte Bilder in der Öffnung hätten erscheinen können, kamen nur die Hinterfläche des Schirmes und ferner die Gegenstände in Betracht, die in der Verlängerung einer von der Linse durch die Öffnung des Schirmes gezogenen Linie lagen (der Kopf des Beobachters und Teile der Zimmerwände). Da auch dieses Zimmer durchweg schwarz gestrichen war, so war die Lichtstärke aller dieser Teile gering und ihre vom Glase gespiegelten Bilder vollends zu vernachlässigen. In der That erschien daher der Fleck auch bei Erleuchtung mit spektralem Licht völlig gleichmäfsig, bei Schliefsung des Kollimatorspalts tief schwarz.

Die zur Auffindung bestimmter Wellenlängen erforderliche Graduierung war sehr einfach nach demselben Prinzip zu machen, wie bei dem Farbenmischapparat; der Kollimatorspalt wurde statt mit dem Triplexbrenner mit einem Bunsenbrenner erleuchtet, in den Lithium, Natrium, Thallium oder Strontiumsalz gebracht wurde und jedesmal diejenige Stellung des Okularspalts aufgesucht, bei welcher die betr. Linie in die Mitte des Spalts fiel resp. das hinter dem Okularspalt befindliche Auge die Öffnung leuchten sah.

Die in solcher Art ausgeführte Graduierung ergab vom Ort der Lithiumlinie ab gerechnet den der Natriumlinie bei 18,5 der Thalliumlinie bei 37,5, der Strontiumlinie bei 87 mm. Der Vergleich mit einem gewöhnlichen prismatischen Spektrum und insbesondere dem im Helmholtz'schen Farbenmischapparat benutzten stellte die nicht aufser Acht zu lassende Thatsache heraus, dafs die Dispersionen in verschiedenen Teilen nicht genau übereinstimmen; vielmehr wächst im Spektrum des Wernicke'schen Prismas die Dispersion gegen das blaue Ende des Spektrums noch stärker als in jenem. Setzt man den Abstand der Natriumlinie von der Lithiumlinie in beiden Fällen = 100, so finden wir im Spektrum des Helmholtz'schen Apparats Thallium bei 195, Strontium bei 398, im Spektrum des Wernicke'schen Prismas Thallium bei 203, Strontium bei 470. Auf die Bedenken, die sich daraus etwa gegen die Vergleichung von Beobachtungen ergaben, die teils in dem einen, teils in den anderen Spektrum gemacht sind, wird später zurückzukommen sein.

Ein anderes, was sich bei der wiederholten Aufsuchung der Metalllinien herausstellte, war der einigermafsen störende Umstand, dafs die Lage des ganzen Spektrums bei fester Aufstellung der Apparate nicht unerhebliche Schwankungen darbot, als deren Ursache sich die wechselnde Temperatur der Prismenflüssigkeiten herausstellte. Eine häufige auch zwischen den einzelnen Untersuchungen oft zu wiederholende Kontrolle der Natriumlinie war hierdurch geboten; manche Bestimmungen wurden dadurch unbrauchbar, dafs sich am Schlufs die Natriumlinie gegen die im Anfang notirte Lage merklich verschoben erwies.

Mit noch einer anderen Schwierigkeit war zu rechnen, nämlich dem Wechsel des Tageslichts. Da die Vergleichung der verschiedenen Spektralregionen eine indirekte war, darauf beruhend, dafs sie successive demselben vom Tageslicht gelieferten Weifs gleichgemacht wurde, so ist natürlich eine Konstanz dieses Vergleichslichtes wesentliche Voraussetzung. An Tagen mit rasch und unregelmäfsig wechselnder Beleuchtung konnte nicht gearbeitet werden. Aber auch bei relativ konstantem Licht (gleichmäfsig blauem oder bedecktem Himmel) wurde im Hinblick auf diesen Umstand sowie auch wegen eines etwaigen Wanderns des Spektrums stets so verfahren, dafs nicht die Helligkeit aller zu prüfenden Lichter hintereinander bestimmt wurde. Vielmehr wurde stets mit einer Bestimmung des Lichtes 589 $\mu\mu$ begonnen,

dann ein anderes, z. B. 558 $\mu\mu$ bestimmt und sodann wieder 589 $\mu\mu$. Nur bei guter Übereinstimmung der ersten und zweiten Bestimmung für das Gelb war die Beobachtung zu benutzen; sie lieferte dann, indem der für 558 $\mu\mu$ gefundene Wert mit dem arithmetischen Mittel der für Gelb (589 $\mu\mu$) erhaltenen verglichen wurde, das Verhältnis der Helligkeit bei 558 $\mu\mu$ im Vergleich zu dem bei 589 $\mu\mu$. Auf diese Weise wurden im ganzen 8 verschiedene Lichter mit dem als Mafsstab gewählten Gelb verglichen, wodurch die Verteilung der Helligkeit im Spektrum bis 513 $\mu\mu$ mit genügender Sicherheit festgestellt war.

Schon der flüchtigste Vergleich lehrt nun, um diesen vorzugsweise interessanten Punkt sogleich vorauszustellen, dafs die Verteilung der peripherischen Helligkeiten von der Verteilung der Dämmerungswerte völlig verschieden ist. Ich stelle, um dies anschaulich zu machen, in der folgenden Tabelle die Peripheriehelligkeiten nach meinen Bestimmungen zusammen und setze darunter die Dämmerungswerte; letztere sind nach den Beobachtungen von Dr. Nagel interpoliert, mit welchen die Bestimmungen von Dr. Stark sowie die von Königs Mitarbeitern, ferner auch die Bestimmungen der total farbenblinden Marie Binder sehr nahe übereinstimmen.

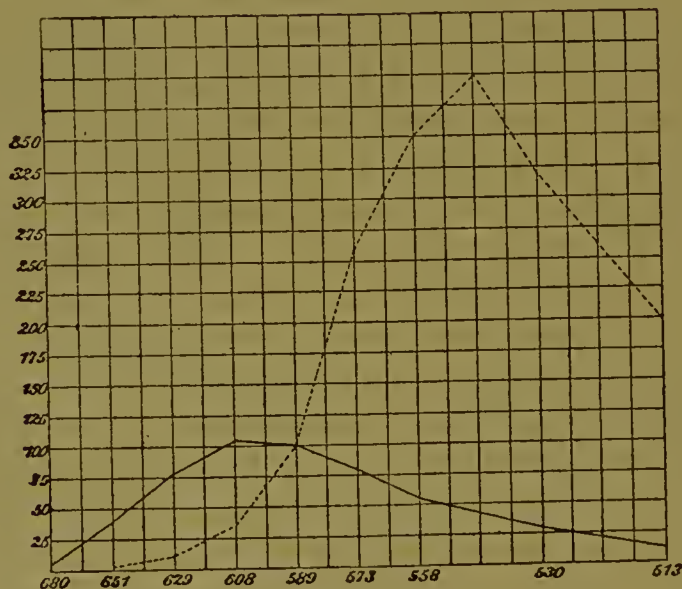


Fig. 2. Verteilung der Peripheriewerte (Helligkeiten für die total farbenblinde Netzhautzone im helladaptieren Zustand) ———— und der der Dämmerungswerte ·············· im Dispersionsspektrum des Gaslichts.

Wellenlänge	680 μμ	651 μμ	629 μμ	608 μμ	589 μμ	573 μμ	558 μμ	530 μμ	513 μμ
Peripheriewert	9.6	37.5	77.5	101	100	79.6	52.2	28.5	14.6
Dämmerungswert	?	3.4	14.0	35.5	100	256	351	321	198

In graphischer Darstellung zeigt Fig. 2 die eine und die andre Verteilung der Helligkeit.

Auch ohne detaillirtere Berechnung übersieht man, dafs die vorerwähnte Differenz der beiden Spektren an diesem Gegensatze nur einen ganz minimalen Anteil haben kann. Allerdings nimmt im Spektrum des gradsichtigen Prismas die Dispersion mit abnehmender Wellenlänge etwas stärker zu, wodurch also die Helligkeit gegen das brechbare Ende etwas stärker sinken würde. Aber die Strecke Natrium-Thallium ist im Vergleich zu Lithium-Natrium nur um 4 % länger, selbst Thallium-Strontium nur um 14 %. Hiernach kann die dadurch bedingte Differenz der Helligkeiten bis 589 μμ sicher ganz aufser Betracht bleiben, auch bis 558 μμ nur wenige Prozent und selbst bei der kleinsten untersuchten Wellenlänge wohl höchstens etwa 20 % betragen. Die Unterschiede in den Helligkeiten sind von ganz andrer Gröfsenordnung, wie wir z. B. erkennen, wenn wir das Verhältnis berechnen, in dem einerseits der Dämmerungswert, andrerseits der Peripheriewert der Lichter 629 μμ und 558 μμ stehen. Wir finden dann in dem einen Falle den Wert 0,67, in dem andern dagegen 25!

Es mufs nun hier sogleich noch eine sehr eigenartige Erscheinung erwähnt werden, welche sich bei diesen Beobachtungen darbot. Immer wurde, wie schon erwähnt, so verfahren, dafs durch Benutzung des den Kollimatorspalt variierenden Schnurlaufs die Helligkeit des mit homogenem Licht erleuchteten Flecks der weifsen Umgebung gleichgemacht wurde. Es gelang auch immer, durch mäfsige Veränderungen der Spaltweite den Fleck hell (auf dunklerem Grunde) oder dunkel, als (Schatten auf hellerem Grunde) zu sehen; ebenso war bei den Exzentrizitäten, die eingehalten wurden, keine Spur von Farbigkeit des Flecks zu bebemerken. Aber nur bei gewissen Lichtern liefs sich durch eine dazwischen liegende Einstellung der Fleck wirklich ganz zum Verschwinden bringen, ähnlich wie es bei Benutzung der unreinen Pigmentfarben meist gelingt. Dagegen zeigte sich, am auffälligsten zunächst bei homogenem Rot, dafs innerhalb eines gewissen

Intensitätsbereiches der Fleck nicht völlig unsichtbar wurde, sondern ein eigentümliches, am ehesten dem metallischen Glanz vergleichbares Aussehen darbot. Man hätte sagen mögen, dafs er irgendwie ungleichmäfsig, sowohl heller als dunkler im Vergleich mit der Umgebung aussah. Selbstverständlich war dabei (bei der geringeren exzentrischen Sehschärfe) von der Wahrnehmung einer bestimmten Musterung keine Rede. Von der Bewegung des Auges war das ganze Phänomen nur insofern abhängig, als bei genau fixiertem Blick der Fleck, wie sich von selbst versteht, unter allen Umständen alsbald unsichtbar wird. Keineswegs aber bestand die Sache etwa nur darin, dafs etwa bei wechselnder Stellung des Auges der Fleck einmal hell und einmal dunkel erschienen wäre; er schien vielmehr bei bestimmter Stellung des Auges, wie gesagt, gleichzeitig teils heller, teils dunkler; eben hierauf beruht das Eigentümliche, dem Glanz verwandte, des Aussehens. Bei dem besondern theoretischen Interesse, welches die Erscheinung besitzt (es wird alsbald eingehender davon zu reden sein), möchte ich noch hervorheben, dafs nicht etwa eine Vorauserwartung mich zu der Beobachtung geführt hat; vielmehr hat sie sich mir ungesucht aufgedrängt, als eine bei der Ausführung der Bestimmungen sich bietende Schwierigkeit. Absichtlich unterliefs ich, Herrn Dr. NAGEL eine Mitteilung darüber zu machen; er beobachtete aber ganz unabhängig bei seinen Versuchen alsbald das Gleiche.[1]

Sehr viel kürzer kann ich mich über die andern Beobachtungen fassen, welche die Peripherie im dunkeladaptierten Zustande betreffen. In diesem Zustande findet sich, wie man einfach sagen kann, keine merkbare Differenz zwischen den parazentralen Teilen und den mehr oder weniger exzentrischen. Es ist mir nicht erforderlich erschienen für die peripheren Netzhautpartien nochmals systematische Bestimmungen der Dämmerungswerte auszuführen. Vielmehr beschränkte ich mich darauf, bei derselben Versuchseinrichtung, die eben geschildert wurde (nur mit Anwendung sehr schwacher Lichter und mit Dunkeladaptation) Einstellungen mit parazentraler Beobachtung zu

---

[1] Übrigens kann man, wie ich später dann gesehen habe, bei Benutzung eines roten Papierschnitzels auf einem grauen, ihm an Peripheriehelligkeit etwa gleichen Grunde, die Erscheinung auch andeutungsweise wahrnehmen, freilich lange nicht so ausgeprägt wie mit homogenem Licht.

machen und bei verschiedenen Exzentrizitäten zu kontrolieren oder umgekehrt. Da ich bei Anwendung aller möglichen Lichter (hier konnte auch zu kleineren Wellenlängen heruntergegangen werden) hier niemals irgendeinen sicheren Unterschied zwischen den verschiedenen Netzhautstellen konstatieren konnte, so darf wohl der Satz als genügend gesichert gelten, dafs in dunkeladaptiertem Zustande die verschiedenen Teile der Netzhaut alle übereinstimmend, auch die Peripherie also mit einem Helligkeitsverhältnis sieht, welches der bekannten Verteilung der Dämmerungswerte entspricht.

Halten wir nun diese Beobachtungen mit den vorhin dargelegten zusammen, so ergiebt sich, dafs für die nämliche (stets farblos empfindende) Netzhautstelle das Aquivalenzverhältnis zweier Lichter ein gänzlich verschiedenes ist, je nachdem starke Lichter auf die helladaptierte oder schwache auf die dunkeladaptierte Netzhaut einwirken. Hiermit hängt dann auch zusammen, was hier sogleich zu erwähnen ist und wovon später noch eingehender zu reden sein wird, dafs man einigermafsen im Zweifel bleiben kann, ob die Ergebnisse der Hellbeobachtungen sich unter günstigsten Versuchsbedingungen nicht noch etwas weiter als hier gefunden wurde, von denen der Dunkelbeobachtungen unterscheiden würden. In der That kann man sehr wohl bemerken, dafs wenn man mit sehr gut helladaptiertem Auge (d. h. nachdem man mehrere Minuten zum Fenster hinausgeschaut hat) recht schnell eine Einstellung gemacht hat, diese schon nach etwas längerer Beobachtung, noch deutlicher, wenn man das Auge nur für einige Sekunden geschlossen hat, ein wenig modifiziert werden mufs, im Sinne einer geringen Annäherung an die Dunkelgleichungen. Auf die Erhaltung einer möglichst guten Helladaption wurde daher bei allen Versuchen Rücksicht genommen; auch glaube ich, dafs erhebliche Modifikationen der gefundenen Helligkeitsverteilung wohl sicher unter keinen Umständen zu erzielen gewesen wären; mit der Möglichkeit aber, dafs dieselbe noch nicht genau das etwa theoretisch mögliche Extrem darstelle, wird in der That zu rechnen sein. Das uns interessierende Resultat, der Unterschied der Hell- und Dunkelgleichungen wird, wie man sieht, durch diese Ungewifsheit nicht berührt; ein Zweifel besteht nur darüber, ob dieser Unterschied nicht vielleicht noch etwas höher zu veranschlagen ist, als wir ihn hier gefunden und angegeben haben.

II.

Ehe ich an die Mitteilung weiterer Thatsachen gehe, mufs ich nun einige theoretische Erörterungen einschalten, da die sich ergebenden Anschauungen für den weiter einzuschlagenden Weg von Bedeutung sind.

Als das überraschendste und theoretisch wichtigste Ergebnis können wir wohl das bezeichnen, dafs bei farblosem Sehen am nasalen Gesichtsfeldrande das Äquivalenzverhältnis der Lichter einerseits bei hohen Intensitäten und helladaptierter Netzhaut, anderseits bei geringer Lichtstärke und Dunkeladaption ein völlig verschiedenes ist. Nun müssen wir beachten, dafs die Verhältnisse der Dämmerungswerte mit den bisher beobachteten Dämmerungswerten, demgemäfs auch mit den Reizweiten für das total farbenblinde Sehorgan[1] übereinstimmen. Erinnern wir uns aber weiter, dafs in diesem letzteren Falle die Äquivalenzverhältnisse durch hohe Lichtstärke und Helladaptierung nicht merklich verändert werden[2], so ergiebt sich, dafs in dem total farbenblinden Sehorgan allerdings der Dunkelapparat des normalen Auges, isoliert und einheitlich funktionierend, vorliegt, nicht aber in der (normalen) Peripherie. Helladaptiert und stark belichtet funktioniert diese (wiewohl immer ohne Einmischung von Farbenempfindungen) durchaus anders als unter gleichen Umständen das total farbenblinde Sehorgan; wir werden also nicht umhin können, auch hier ein Hervortreten des in diesem Auge ja vertretenen Hellapparates anzunehmen. Das heifst aber dann nichts anderes, als dafs die äufserste Peripherie gegenüber dem Zentrum nicht (wie das total farbenblinde Auge) durch eine Beschränkung auf den Dunkelapparat und Ausfall des Hellapparats, sondern durch eine Einschränkung oder Veränderung in der Funktion des Hellapparats modifiziert erscheint. In der Sprache der anatomischen Hypothese hätten wir danach anzunehmen, dafs auch in der äufsersten

---

[1] Es ist hier selbstverständlich nur von den Fällen angeborener totaler Farbenblindheit die Rede, für welche die Untersuchungen einen wohlcharakterisierten Typus herausgestellt haben. Davon, dafs es auch andere Arten namentlich von erworbener totaler Farbenblindheit geben kann und wohl sicherlich giebt, wird später noch zu reden sein.

[2] v. Kries, Über Farbensysteme. *Diese Zeitschrift* XIII, S. 295.

Peripherie im helladaptierten Auge überwiegend die Zapfen funktionieren und dafs die Farbenblindheit auf einer funktionellen Modifikation dieses Apparats, des Hellapparats beruht. Diese Annahme erscheint um so besser begründet, als die Verteilung der „Peripheriewerte", wie schon ein flüchtiger Blick lehrt, sich wenigstens annähernd mit derjenigen Helligkeitsverteilung deckt, welche für den farbentüchtigen Zapfenapparat gilt (Maximum nahe der Natriumlinie). Freilich ist ja diese letztere wegen der Unbestimmtheit heterochromer Helligkeitsvergleichung kaum als etwas ganz scharf Fixiertes zu betrachten; es darf daher dieser kurze Hinweis auf den, auch später noch wieder zu berührenden Punkt genügen.

Aus dieser Auffassung erklärt sich wohl, wie hier gleich eingeschaltet werden mag, die vorher erwähnte eigentümliche, dem Glanz ähnliche Erscheinung der exzentrisch gesehenen homogenen Lichter. Nur für gewisse Lichter nämlich kann es sich so verhalten, dafs, wenn ihre Peripheriewerte denen eines gemischten Weifs gleich sind, auch die Dämmerungswerte übereinstimmen. Es werden dies Lichter sein, die etwas kleinere Wellenlänge als Na-Licht besitzen. Dagegen mufs (bei gleichem Reizwert für den Zapfenapparat) rotes Licht viel kleinere, grünes gröfsere Stäbchenvalenz haben als das gemischte weifse Licht. Wären nun auch in der äufsersten Peripherie Stäbchen und Zapfen in völlig gleichmäfsiger Weise untermischt, so dafs in sehr kleinen Bezirken das numerische Verhältnis beider Endapparate stets das gleiche wäre, so könnte sich jener Umstand natürlich nicht bemerklich machen. Ist dagegen die Mischung eine einigermafsen grobe oder ungleichmäfsige, so wird die Kontur des Flecks nicht absolut verschwinden können. Bei Erleuchtung mit rotem Licht wird z. B. derjenige Teil des Umrisses, der gerade auf ein etwas zapfenarmes Gebiet fällt, in der Weise sichtbar werden, dafs der Fleck zu dunkel erscheint. Ich glaube, dafs die eigentümliche Unruhe, welche bei den Beobachtungen bemerkt wird, sich hieraus wohl erklären läfst. Streng genommen wäre es danach richtig gewesen, wenn es Zweck der Versuche war, die Reizwerte für den Hellapparat gleich zu machen, bei allen Lichtern eine Intensität einzustellen, bei der die Erscheinung des Glänzens aufhörte, und zwar für langwelliges Licht so, dafs der Fleck eben nicht mehr zu hell, für kurzwelliges so, dafs er eben nicht mehr zu dunkel erschienen wäre.

Bei diesem Verfahren würde die Kurve der Helligkeiten sich noch ein wenig (übrigens sehr wenig) stärker von der der Dämmerungswerte unterschieden haben, als sie es ohnehin thut. Da ich indessen in die Versuche eine theoretische Präsumtion nicht einführen mochte, so wurde die Aufgabe stets so gestellt, den Fleck so annähernd als eben möglich zum Verschwinden zu bringen. Es ergab sich als einfachste Regel hierfür und auch als sicherstes Verfahren, daſs versucht wurde eine mittlere Einstellung zwischen den beiden (von einander nur wenig entfernten) zu gewinnen, bei denen er deutlich zu hell resp. deutlich zu dunkel erschien.

Nicht minder steht denn hiermit auch im Einklange, daſs auch bei helladaptiertem Auge die Peripheriegleichungen sich nicht als völlig konstant herausstellten. Wenn z. B. abwechselnd im nasalen und im untern Gesichtsfeld beobachtet wurde, so fanden sich fast immer kleine, aber doch deutliche Differenzen von der Art, daſs z. B. der nasal richtig eingestellte Fleck im untern Gesichtsfelde zu hell erschien, der im untern Gesichtsfelde eingestellte nasal zu hell. Natürlich können derartige Differenzen auf einer nicht überall gleich starken Helladaptation beruhen; z. Th. aber mögen sie wohl auch von einem lokal etwas verschiedenen Mischungsverhältnis der Stäbchen und der Zapfen abhängen.

Gehen wir nun von der eben entwickelten Annahme aus, daſs die periphere Farbenblindheit von der Einmischung des Dunkelapparats ganz unabhängig und auf eine beschränktere Funktion des Hellapparats zurückzuführen sei, so finden wir darin sogleich auch eine Basis für das Verständnis der von zahlreichen Autoren behaupteten Existenz einer typisch dichromatischen Zone. Für die Aufgabe der weiteren Untersuchung aber ergeben sich ferner, wie schon bemerkt, gewisse Anhalte.

Wenn wir nämlich in der Farbenblindheit der Peripherie eine Modifikation in der Leistung des Hellapparats erblicken, so wird unser Interesse vorzugsweise auf eine Prüfung der für diese Teile geltenden Hell-Gleichungen gerichtet sein müssen. Für die total-farbenblinde Zone wäre hier durch die eben mitgeteilten Beobachtungen die Aufgabe bereits im wesentlichen gelöst. Es wäre somit vor allem für die partiell farbenblinde (sogen. rotgrünblinde) Zone eine systematische Dar-

stellung des Farbensystems ganz in ähnlicher Weise wie von den sogen. Dichromaten, die angeborne partielle Farbenblindheit, zu gewinnen. Die vollständige Durchführung einer solchen Untersuchung stöfst indessen auf z. Z. wenigstens unüberwindliche Schwierigkeiten; denn wenn an dem für die Untersuchung der Peripherie allein geeigneten Hering'schen Verfahren festgehalten werden soll, so wäre zur Gewinnung solcher Farbengleichungen eine Beleuchtung des den Fleck umgebenden Grundes mit quantitativ variierbaren homogenen Lichtern notwendig, eine Anforderung, die ich vorläufig nicht zu erfüllen in der Lage war. Unter diesen Umständen habe ich die Untersuchung auf gewisse, theoretisch am meisten interessierende Fragen gerichtet, die eine sichere Beantwortung zuzulassen scheinen, nämlich erstens ob die Farbenblindheit der peripheren Teile Reduktionsformen des normalen trichromatischen Systems sind, und zweitens (die Bejahung dieser Frage vorausgesetzt) ob die hier vorliegenden Reduktionen identisch sind mit denjenigen, die wir als angeborne partielle Farbenblindheiten kennen.

Der Satz, dafs Lichter oder Lichtgemische, die für die Nachbarschaft des Netzhautzentrums gleich aussehen, auch den peripheren Teilen gleich erscheinen, ist bisher wohl ausnahmslos für richtig gehalten worden. Eine ganz systematische Prüfung desselben ist allerdings bisher nicht angestellt worden. Für eine bestimmte Kategorie von Fällen finden wir jedoch eine recht gute Bewährung für ihn in den Beobachtungen von Hess. Aus den soeben erwähnten Gründen mufste auch ich bei seiner Prüfung davon absehen, eine Darstellung des Farbensystems etwa in ähnlicher Weise wie für den Dichromaten zu gewinnen. Ich habe mich daher darauf beschränkt, Gleichungen möglichst verschiedener Art für parazentrale Netzhautpartien einzustellen und zu prüfen, ob sie für andre, insbesondere stärker exzentrische Netzhautstellen ungültig werden. Ich schicke voraus, dafs das niemals beobachtet worden ist, ich also auch, soweit meine Beobachtungen reichen, [die Gültigkeit aller parazentralen Gleichungen für alle peripheren Partien behaupten mufs. Geprüft wurden in dieser Weise Mischungen verschiedener komplementärer Farbenpaare im Vergleich mit unzerlegtem Weifs; ferner wurde auch der ursprünglich angewandte weifse Schirm durch farbige Papiere ersetzt und auf diese Weise z. B. das orangefarbene Pigment mit Mischungen aus Rot und Grünlichgelb, ein

blaugrünes Pigment mit Mischungen aus Grün und Blau etc. verglichen. Der Einflufs der Makulapigmentierung tritt bei dieser Art der Beobachtung ungemein deutlich hervor; dagegen wurden die parazentral giltigen Gleichungen stets auch in gröfseren Exzentrizitäten mit gröfster Annäherung zutreffend gefunden.

Wenn hiernach also jedenfalls als äufserst wahrscheinlich angenommen werden darf, dafs die beschränkten Farbensysteme der Netzhautperipherie gegenüber den parazentralen reine Reduktionsformen darstellen, so erhebt sich nunmehr die Frage, welche im Hinblick auf bisherige Auffassungen vielleicht am meisten Interesse beanspruchen kann, ob nämlich die uns bereits bekannten dichromatischen Systeme sich hier wiederfinden, ob in der That eine gewisse Zone der normalen Netzhaut sich gerade ebenso verhält, wie das Sehorgan des Dichromaten auch in seinen zentralen Teilen.

In Übereinstimmung mit älteren Beobachtungen, namentlich derjenigen von Hess, kann ich nur bestätigen, dafs eine gewisse Zone der normalen Netzhaut, sofern man die Untersuchung auf die hier gegebenen Feldgröfsen und Lichtstärken beschränkt, sich in sehr typischer Weise als dichromatisch und zwar rotgrünblind qualifiziert. Diese letztere Bezeichnung ist hier im subjektiven Sinn genommen: es fehlen der Rot- und der Grün-Anteil der Empfindung. Während also ein gewisses Grün und ein gewisses Rot hier farblos gesehen werden, erscheinen die gelblicheren Töne beider Farben als gelb, die bläulichen als blau. Beobachtet man die farbigen Flecke, umgeben von einem farblosen Grunde und verfügt man dabei, wie es bei dem beschriebenen Verfahren der Fall ist, über die Möglichkeit, die Helligkeiten zu variieren, so werden die Veränderungen des Farbentons, welche ein gelbliches oder bläuliches Grün resp. Rot erfährt überaus deutlich. Man kann durchweg bestätigen, was Hess in § 2 seiner angeführten Arbeit beschreibt. Können wir hiernach die dichromatische Natur des in dieser Zone und unter den erwähnten Bedingungen stattfindenden Sehens wohl als festgestellt ansehen, so erhebt sich die weitere Frage, ob der dichromatische Teil der normalen Netzhaut mit einem der bei angeborner Farbenblindheit bestehenden dichromatischen System übereinstimmt. Hier nun kann zunächst in einer jeden Zweifel ausschliefsenden Weise erhärtet werden, dafs er von dem protanopischen (rotblinden) Farbensystem durchaus verschieden ist. In der ekla-

tantesten Weise zeigt dies schon ein Versuch, den man mit farbigen Papieren anstellen kann. Bei der oben (S. 249 u. 250) beschriebenen Aufstellung wurde hinter den vorderen Schirm eine mittels des Farbenkreisels hergestellte Mischung von Rot und Blau gebracht. Ich glich den roten und blauen Sektor so ab, dafs der Fleck bei exzentrischer Beobachtung weder blau noch gelb wurde, also im HERING'schen Sinne rein rot war, wozu 286° Rot und 74° Blau erforderlich waren. Ich stellte nun bei einer Exzentrizität, welche ausreichend war, um das Rot unsichtbar zu machen, durch Drehung des Schirmes auf Verschwinden des Flecks ein. Die so gewonnene Einstellung liefs ich nunmehr von einem Protanopen (Dr. BÜDINGEN), und zwar bei gleicher Exzentrizität betrachten. Er erklärte Fleck und Grund für völlig verschieden und zwar den Fleck für t i e f d u n k e l b l a u. Ich liefs nunmehr von ihm durch Änderung des Sektorenverhältnisses und Drehen des Schirmes (immer für die gleiche Exzentrizität) Gleichheit herstellen; dazu war eine Reduktion des blauen Sektors auf ein Minimum (weniger als 1°) und entsprechende Vergröfserung des roten erforderlich; zugleich wurde der Schirm erheblich gedreht und zwar weit dunkler eingestellt. Betrachtete ich nun die von Herrn B. gemachte und bei wiederholter Prüfung für richtig erklärte Einstellung, so sah ich den Fleck viel zu hell, man könnte sagen leuchtend gelb auf dunklem Grunde.

Wenn ich hinzufüge, dafs ich dieselbe Peripheriegleichung von einer gröfseren Zahl normalsichtiger Personen habe einstellen lassen, ohne jemals einen sichern Unterschied gegenüber meinen Einstellungen zu erhalten, so darf hier auch schon ausgesprochen werden, dafs das protanopische Sehorgan vollkommen anders sieht, als die dichromatische Zone des normalen. Eine genauere Verfolgung dieser Unterschiede konnte unterlassen werden, teils wegen der schlagenden Deutlichkeit des obigen Versuchs, teils weil der hier in Betracht kommende Unterschied nicht minder deutlich, aber leichter messend zu verfolgen in der t o t a l f a r b e n b l i n d e n Z o n e beider Sehorgane hervortritt. Dr. B. hatte die Güte, in einigen Beobachtungsreihen mit der oben erwähnten auch von mir benutzten Einrichtung die Verteilung der Peripheriewerte in dem Dispersionsspektrum des Gaslichts (WERNICKE'sches Flüssigkeitsprisma) zu bestimmen. Die Ergebnisse stelle ich in der folgenden Tabelle zusammen.

Wellenlänge	680 $\mu\mu$	651 $\mu\mu$	629 $\mu\mu$	608 $\mu\mu$	589 $\mu\mu$	573 $\mu\mu$	558 $\mu\mu$	530 $\mu\mu$	513 $\mu\mu$
Peripheriewerte f. d. Rotblinden	4,1?	10,7	34,0	—	100	—	110	—	36,4
Peripheriewerte f. d. Farbentüchtig.	9,6	37,5	77,5	101	100	79,6	52,2	28,5	14,6.

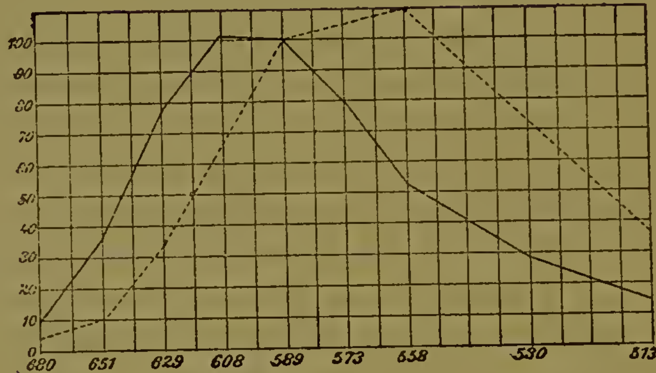


Fig. 3. Verteilung der Peripheriewerte im Dispersionsspektrum des Gaslichts für das normale Sehorgan ——————— und für das rotblinde (protanopische) ·····················.

In graphischer Darstellung zeigt Fig. 3 die Verteilung der Peripherie-Helligkeit in jenem Spektrum für die beiden Sehorgane.[1]

Man bemerkt nun sofort den gewaltigen Unterschied. Die total farbenblinden Zonen eines normalen und eines protanopischen Sehorgans sind bezüglich der Helligkeit, mit der sie verschiedene Lichter sehen, von einander völlig verschieden. Kurz gesagt, zeigt das protanopische Sehorgan auch hier die ihm charakteristische geringe Empfindlichkeit gegen langwelliges Licht. Demgemäfs sind denn, wenn man den Fleck mit homogenem roten Licht er-

[1] Äufsere Umstände haben mich vorläufig verhindert den Peripheriebeobachtungen rotblinder Personen eine gröfsere Vollständigkeit zu geben, namentlich sie auf eine etwas gröfsere Zahl homogener Lichter zu erstrecken. Dafs die Kurve der Helligkeitsversteilungen von der für das normale Auge geltenden sehr verschieden ist, ist allerdings zweifellos. Dagegen kann ihre Gestalt nicht als sehr genau bestimmt gelten; der eigentliche Gipfel erscheint, vermutlich in Ermangelung einer Bestimmung, zwischen 589 und 558 $\mu\mu$ abgeschnitten.

leuchtet, die Einstellungen des Protanopen für den Farbentüchtigen in der frappantesten Weise ungültig und umgekehrt.

Überlegt man die Thatsachen zusammenfassend, so läfst, wie mir scheint, schon die ganze Verteilung der Peripheriewerte im Spektrum (Lage des Maximums noch rotwärts von der Natriumlinie) keinen Zweifel darüber bestehen, dafs in der total farbenblinden Zone des normalen Auges ein Bestandteil des Sehorgans in Funktion ist, der dem protanopischen Sehorgan überhaupt fehlt. Ist aber dies der Fall, so versteht sich von selbst, dafs dies auch für die dichromatische Zone des normalen Auges gelten werde. Auch aus diesem Grunde erschien mir eine weitere Verfolgung oder systematische Darstellung der Unterschiede zwischen dieser Zone und dem protanopischen Sehorgan entbehrlich.

Auf viel gröfsere Schwierigkeiten führt die Vergleichung der normalen Peripherie mit dem deuteranopischen (grünblinden) Farbensystem. Obwohl mir hier in Dr. Nagel ein sehr geübter und sorgfältiger Beobachter zur Seite stand, ist es mir doch nicht gelungen, die vorzugsweise interessierenden Fragen in einer ganz sicheren Weise zu beantworten.

Was zuerst die Beobachtungen mit farbigen Papieren anlangt, so stellte sich qualitativ kein, wenigstens kein sicherer Unterschied zwischen meiner rotgrünblinden Zone und Nagel's parazentralem Sehen heraus. Dieselbe Mischung von Rot und Blau, ebenso eines gelblichen Grüns mit Blau erschien in beiden Fällen ohne Farbendifferenz gegen den Grund und konnte durch Drehung des vorderen Schirms zu vollkommener Ausgleichung mit ihm gebracht werden. Dagegen fand sich in quantitativer Beziehung ein geringer Unterschied. Wenn z. B. Dr. Nagel eine für ihn gültige Gleichung zwischen einem bläulichen Rot und Grün herstellte und ich alsdann durch periphere Beobachtung den vorderen Schirm auf Gleichheit mit dem bläulichen Rot einstellte und schliefslich dieses durch das von Nagel gleich erachtete Grün ersetzte, so fand ich nunmehr stets das Grün merklich zu hell. So ergab sich z. B. um eine Zahl anzuführen, für Nagel 316^0 Rot + 48^0 Blau = 19^0 Blau + 120^0 Grün. Durch die erwähnte indirekte Vergleichung stellte sich die rechte Seite dieser Gleichung, wie gesagt, für meine Peripherie zu hell heraus, und um das Grün auf Gleichheit mit derjenigen Einstellung des Schirms zu bringen, die mit der linken Seite der Gleichung

übereinstimmte, mufste (statt 19° Blau + 120° Grün) 17° Blau + 80° Grün gegeben werden. Hiernach würde also Dr. Nagel, um Gleichheit mit Rot zu erhalten, ein etwas intensiveres Grün brauchen als meine Netzhautperipherie. Gegen diese Vergleichung kann indessen eingewendet werden, dafs bei Dr. Nagel's Einstellung der Kreiselgleichung jedenfalls das Netzhautzentrum überwiegend in Frage kam und daher die (ohnehin nicht sehr grofse Differenz) aus der bei meinen Peripheriegleichungen natürlich fehlenden makularen Absorption erklärt werden kann. Diesem Einwande sind die Versuche nicht ausgesetzt, bei denen alternierend Dr. Nagel und ich, mit gleicher Exzentrizität beobachtend, den vorderen Schirm auf Gleichheit mit einem dort farblos erscheinenden bläulichen Rot oder Grün einstellten. Die Einstellungen mit Grün stellten hier keine sichere Differenz heraus, wohl aber die mit Rot; hier war stets das von N. als gleich erachtete Rot für mich zu dunkel. Doch waren die Unterschiede gering und übertrafen die Schwankungen in den Einstellungen desselben Beobachters nur unerheblich.

Ich unterliefs die genauere Verfolgung dieser Beobachtungen, weil entscheidendere Resultate von der Anwendung homogener Lichter zu hoffen waren. Es war dabei kein Nachteil, dafs hier die verfügbaren Hilfsmittel die Untersuchung auf die total farbenblinde Zone einschränkten; denn man konnte erwarten, dafs wenn die Beziehungen ähnliche wären, sich hier Unterschiede der normalen Peripherie von der des Deuteranopen ebenso herausstellen würden, wie von der des Protanopen. Das Ergebnis war nun, dafs die Verteilung der Peripherie-Helligkeiten im Spektrum für das normale und für das deuteranopische Auge bis zur Wellenlänge 558 jedenfalls mit grofser Annäherung übereinstimmen; erst bei 513 $\mu\mu$ kann ein Unterschied in dem Sinne konstatiert werden, dafs die Helligkeit im Vergleich zu Na-Licht für N. geringer ist als für mich. Man kann dies aus der nachstehenden Tabelle ersehen.

Wellenlänge in $\mu\mu$	680	651	629	608	589	573	558	530	513
Peripheriewerte f. d. Deuteronopen	9,3	33,4	87	109,4	100	—	60,1	25,6	9,8
Peripheriewerte f. d. Farbentüchtigen	9,6	37,5	77,5	101	100	79,6	52,2	28,5	14,6

Die Beobachtungen dieser Art erscheinen nun aber einer anderen Schwierigkeit ausgesetzt, welche zu erwähnen hier der richtige Ort ist. Die Peripheriegleichungen sind, das hatten wir zuerst zu konstatieren, in sehr beträchtlichem Maſse von der Adaptation abhängig. Sollen die Peripherieeinstellungen zweier Personen überhaupt einwurfsfrei vergleichbar sein, so ist es unerläſsliche Bedingung, daſs (theoretisch gesprochen) in beiden Fällen eine Mitwirkung des Stäbchenapparats gleichermaſsen ausgeschlossen sei. Man übersieht, daſs die relative Unterwertigkeit des grünen Lichts bei Nagel ganz wohl z. B. auch daher rühren könnte, daſs bei mir ein nicht so vollkommener Zustand der Helladaptation erreicht worden wäre als bei N. Um zu möglichst sicheren Resultaten zu gelangen, haben wir die Bestimmungen des Lichtes 513 $\mu\mu$ zahlreich wiederholt und mit besonderer Sorgfalt dabei für Helladaptierung gesorgt, indem der Beobachter stets zwischen zwei Einstellungen einige Zeit am Fenster zu verweilen und ins Freie zu schauen hatte. Auf diese Weise erhielt ich für die Helligkeit des betr. Lichts (Na = 100) in fünf Versuchsreihen 13,3; 16,3; 14,3; 16,2; 13,8; im Mittel **14,8**. Nagel dagegen 10,1; 8,5; 10,1; 11,2; 9,1; im Mittel **9,8**.

Wie man sieht, liegt Nagel's höchste Zahl noch merklich unter meiner niedrigsten. Die eben erwähnte Annahme ferner, daſs der Unterschied auf einer nur bei mir oder bei mir stärker hervortretenden Funktion der Stäbchen beruhe, findet darin keine Bestätigung, daſs wir für homogenes Rot sehr nahezu dieselben Werte erhalten.[1]

Nach alledem möchte ich es vorläufig für das Wahrscheinlichere halten, daſs das periphere Sehen der Farbentüchtigen wie es von dem des Rotblinden sich ja zweifellos unterscheidet, so auch von dem des Grünblinden, wenn auch viel weniger, doch thatsächlich unterschieden ist, soweit die Hellapparate in Betracht kommen. Da aber die Differenzen keine beträchtlichen Werte erreichen und da die Möglichkeit einer anderen Deu-

[1] Eher lassen sogar N.'s Bestimmungen das Rot etwas dunkler erscheinen; dies würde darauf hindeuten, was ich auch nach sonstigen vergleichenden Beobachtungen für das Wahrscheinlichere halte, daſs die Funktion der Stäbchen bei Nagel eine relativ stärkere ist als bei mir. Hiernach würden wir uns die oben erörterte Differenz, das dunklere Erscheinen des Grün für Nagel, vielleicht noch etwas stärker denken müssen, als die Zahlen es ergeben.

tung jedenfalls zu beachten ist, so dürfen wir dies nicht mit Entschiedenheit behaupten.

III.

Wenn wir uns der Frage zuwenden, was aus den mitgeteilten Thatsachen bezüglich der Einrichtung unsres Gesichtsorgans gefolgert werden kann, so möchte ich, ganz entsprechend dem an anderer Stelle [1] Ausgeführten auch hier zunächst die grofse Vorsicht und Zurückhaltung betonen, die auf diesem Gebiete z. Z. geboten ist. Das dort Gesagte gilt hier noch mehr, weil wie wir fanden, in einer vorzugsweise wichtigen Beziehung unsere Ermittelungen nicht so sicher sind als man wünschen könnte: es wurde wahrscheinlich gemacht, dafs die rotgrünblinde Zone des normalen Sehorgans von den parazentralen Teilen des deuteranopischen zwar nur wenig, aber doch realiter verschieden ist, ebenso dafs die total farbenblinden Teile des normalen und des deuteranopischen Auges zwar annähernd aber doch nicht genau übereinstimmen; aber wir konnten diese Unterschiede eben nur einigermafsen wahrscheinlich machen, nicht sicher beweisen. Ich möchte mich demgemäfs denn auch auf einige kurze Andeutungen beschränken.

Es können meines Erachtens z. Z. mindestens zwei Auffassungen der peripheren Farbenblindheit in Frage kommen. Die erste würde, in Anschlufs an die aus den angeborenen Farbenblindheiten bekannten Thatsachen, und im wesentlichen der älteren Helmholtz'schen Auffassung folgend, das Sehen der rotgrünblinden Zone mit der Grünblindheit (Deuteranopsie) identificieren, also dort den Ausfall einer Helmholtz'schen Komponente (nämlich der 2.) und entsprechend für die total farbenblinden Partien auch noch den Ausfall der 3. annehmen, so dafs hier nur eine (es müfste die Rot-Komponente sein) allein übrig bliebe. Eine Anzahl von Einwänden, die man früher gegen derartige Deutungen erhob, sind bei dem beschränkten Sinne in dem wir die Helmholtz'schen Komponenten überhaupt nehmen, gegenstandslos. [2] Dagegen müsste man sich bei dieser Auffassung

---

[1] *Diese Zeitschrift* XIII, S. 311.

[2] So z. B. die früher gezogene Folgerung, dafs die der Grün-Komponente entbehrenden Netzhautteile das gemischte Weifs rot sehen

über die Differenz, die auch zwischen dem deuteranopischen Sehorgan und dem normalen partiell farbenblinden Teile der Peripherie zu bestehen schien, mit der nicht sehr befriedigenden Erklärung, die sie auf Versuchsfehler, ungleiche Adaptation etc. zurückführt, hinwegsetzen.

Eine zweite Auffassung wäre diejenige, welche ich schon vor Jahren erörtert habe und damals zu bevorzugen geneigt war. Ihr zufolge könnte Farbenblindheit auch beim Vorhandensein aller drei Komponenten bestehen und zwar durch ein mangelhaftes Funktionieren in anderen Teilen des Gesichtsapparats als demjenigen, dem die Drei-Komponentengliederung eigen ist (Optikusfasern, Hirnrinde). Nach dieser (ähnlich auch von Helmholtz in der 2. Auflage der *Physiol. Optik* angedeuteten) Anschauung wäre das Vorkommen von Farbenblindheiten zu erklären, die von den durch Mangel einer jener Komponenten bedingten überhaupt verschieden sind. Hiernach könnte man sich dann vorstellen, dafs sowohl die partiell als auch die total farbenblinden Netzhautteile eines normalen Sehorgans die Helmholtz'schen Komponenten alle drei besäfsen, der Mangel des Farbensinns aber nur in einer modifizierten (abgestumpften) Funktionsweise der eigentlich nervösen, insbesondere cerebralen Teile seinen Grund hätte.

Obwohl ein Teil der Gründe, die ich früher für diese cerebralen Bedingungen des Farbensehens geltend gemacht habe, neuerdings dadurch in Fortfall gekommen ist, dafs sich das Farblossehen in einer Anzahl von Fällen aus einer isolierten Thätigkeit der Stäbchen erklärt hat, so scheint mir doch auch gegenwärtig die ganze Vorstellungsweise noch viel für sich zu haben.[1] Für ihre sichere Beurteilung wird vor allem eine genauere Kenntnis der erworbenen Farbenblindheiten wichtig sein. Man nimmt gegenwärtig meist an, dafs durch Erkrankungen die

---

müfsten. Vergl. hierüber *diese Zeitschr.* XIII, S. 313f. Ich würde auch in der Annahme, dafs die auf eine jener Komponenten reduzierten Netzhautpartieen durch deren Erregung farblose Helligkeitsempfindung liefern, keine besondere Schwierigkeit erblicken.

[1] Dafs auch bei dieser Auffassung manches auffällig bleibt, kann freilich nicht übersehen werden; so vor allem wohl, dafs der Unterschied der normalen Peripherie gegenüber dem deuteranopischen System so gering, jedenfalls weit geringer als gegenüber dem protanopischen ist. Es wäre verfrüht über die etwa denkbaren Gründe dieser Thatsache zu spekulieren.

Farbengesichtsfelder sich einschränken, um schliefslich ganz zu schwinden, das Zentrum also die normalerweise in der Peripherie vorhandene Beschaffenheit annehme. Wenn bei einer Erkrankung sicher cerebralen Sitzes, wie z. B. einer Hemiachromatopsie, das Sehen mit demjenigen übereinstimmte, welches die total farbenblinde Zone normalerweise besitzt, so würde das gewifs dieser Anschauung sehr zur Stütze gereichen.[1]

Möglich bleibt endlich als dritte auch noch die von Fick mehrfach erörterte Deutung, dafs die periphere Farbenblindheit auf eine Modifikation der drei (Helmholtz'schen) Komponenten zurückzuführen sei, derzufolge die auf sie ausgeübten Reizwirkungen in veränderter Weise von der Wellenlänge abhängen. Mir ist die Annahme solcher ihrer Natur nach nicht weiter verständlich zu machender Modifikationen niemals als eine befriedigende Erklärung erschienen. Dafs man aber jedes tri-, di- oder monochromatische Farbensystem sich aus dem normalen durch derartige Modifikationen der Reizbarkeitsverhältnisse entstanden denken kann, ist vollkommen einleuchtend und selbstverständlich. Solange wir also keine befriedigende Erklärung der betreffenden Verhältnisse besitzen, wird auch diese zu berücksichtigen sein.

Stöfst, dem Gesagten zufolge, eine positive theoretische Verwertung unsrer Ergebnisse vorderhand noch auf recht grofse Schwierigkeiten, so können um so unbedenklicher im negativen Sinne eine Reihe von Folgerungen gezogen werden. Wenn ich einige Bemerkungen in dieser Beziehung vorzugsweise gegen Hering's Theorie der Gegenfarben richte, so möchte ich vorausschicken, dafs es mir ganz und gar nicht darum zu thun ist (wie wohl öfter angenommen worden ist) diese zu „widerlegen". Dafs die Theorie der Gegenfarben in dem umfassenden und erschöpfenden Sinne, wie sie zuerst aufgestellt und zur Erklärung fast aller Thatsachen im Gebiete der Gesichtsempfindungen herangezogen wurde, nicht aufrecht erhalten werden kann, dürfte

---

[1] In dem von König untersuchten Falle von erworbener Farbenblindheit (*Helmholtz-Festschrift* S. 379 f.) waren die Verhältnisse der Helligkeiten verschiedener Farben sicher ganz verschieden von den Dämmerungswerten. Dafs sie den normalen Peripheriewerten entsprechen, läfst sich wohl mit einiger Wahrscheinlichkeit vermuten, ist aber bei der Art der damals angestellten Untersuchung nicht mehr zu erweisen.

aufser Zweifel stehen. Wie viel oder wenig anderseits von den der Theorie eigentümlichen Grundgedanken sich später einmal bei einer gesicherten Lehre von der Organisation des Gesichtsapparats als in irgendeinem Sinne zutreffend erweisen wird, darüber enthalte ich mich vorläufig jeder Vermutung. Meine Absicht ist nur, auch hier wieder hervorzuheben, dafs in vielen Beziehungen die thatsächlichen Verhältnisse vollkommen anders liegen, als es in jenen theoretischen Konstruktionen angenommen worden ist.

Zunächst gilt dies für die neuerliche Lehre von der spezifischen Helligkeit der Farben. Diejenigen Helligkeitsverhältnisse, die beim Dämmerungssehen zu bemerken sind und die wir als die Stäbchenvalenzen der Lichter auffassen, sollten nach Hering und Hillebrand die Wirkungen auf die schwarzweifse Sehsubstanz darstellen; die ganz andern Helligkeitsverhältnisse, die das helladaptierte Auge bei hohen Lichtstärken sieht, sollten auf den erhellenden Einflufs des Rot und Gelb, den verdunkelnden des Grün und Blau zurückgeführt werden. Die eigentliche Basis dieser Lehre ist jedenfalls, wie früher schon durch die Sonderstellung der Fovea so hier noch deutlicher dadurch in Fortfall gekommen, dafs die helladaptierte Peripherie farblos sieht, ohne dafs die Helligkeitsverhältnisse sich von den gewöhnlichen, beim farbigen Sehen bestehenden, sehr erheblich entfernten, jedenfalls ohne dafs sie sich denjenigen des Dämmerungssehens irgend annäherten. Wir haben hier also einen Fall, in dem das Ausfallen der Farbe den ihm zugeschriebenen gewaltigen Einflufs auf die Helligkeiten ganz und gar nicht besitzt. Ob von einer spezifischen Helligkeit der Farbe gar nicht zu reden ist, möchte ich dahingestellt sein lassen.[1] Sicher dürfen wir ihr

[1] Vermutungsweise könnte man vielleicht eine spezifische Helligkeit der Farben ganz leugnen und den Satz aufstellen, dafs Lichter, die auf den total farbenblinden Hellapparat der Peripherie gleich stark wirken, auf die farbentüchtigen Netzhautpartieen den Eindruck gleicher Helligkeit machen. In der That nähern sich die von mir gefundenen Peripheriewerte, so weit sie bestimmt werden konnten (680—513 $\mu\mu$), der von König ermittelten Verteilung der Gesamthelligkeit (bei ungleicher Farbe) sehr an. Indessen kann von einem strengen Beweise jenes Satzes nicht die Rede sein, teils wegen der Unsicherheit, mit der das Urteil über gleiche Helligkeit verschiedener Farben stets behaftet ist, teils wegen der Unmöglichkeit, die für den peripheren Helligkeitsapparat geltenden Reizwerte ganz rein ohne Beimischung

nicht die grofse Bedeutung beimessen, die HERING ihr zuschreiben wollte, und sicher beruht das PURKINJE'sche Phänomen, das aus ihr erklärt werden sollte, im wesentlichen auf etwas ganz anderem.

Nehmen wir den Begriff des PURKINJE'schen Phänomens in einer durch die Thatsachen wohl gebotenen Erweiterung und verstehen darunter die Erscheinung, dafs zwei Lichter, die bei hoher Intensität und helladaptiertem Auge den Eindruck gleicher Helligkeit machen, von ungleichem Dämmerungswert sind, so könnte es nach HERING's Auffassung ein PURKINJE'schen Phänomen ohne Beteiligung der Farben nicht geben. Thatsächlich finden wir es ohne diese in der Netzhautperipherie in der frappantesten Weise zu beobachten, und man kann sagen, dafs diese, nur auf farbloses Sehen beschränkten Fälle, weil sie die Unsicherheit der heterochromen Helligkeitsvergleichung vermeiden, die elegantesten und belehrendsten sind. Werfen wir hier einen Rückblick auf die analogen Beobachtungen, so können wir sagen, dafs wir hier den dritten und frappantesten Fall dafür haben, dafs zwei farblos erscheinende Lichter, die bei hoher Lichtstärke und Helladaptation gleich erscheinen, bei Abschwächung und Dunkeladaptation ungleich werden. Der erste (schwer zu beobachtende und bestrittene) betraf die Vergleichung eines aus Gelb und Blau und eines aus Rot und Blaugrün gemischten Weifs. (Vgl. *diese Zeitschrift* IX S. 105.) Der zweite, beim Dichromaten, besonders dem Deuteranopen vortrefflich zu beobachtende hatte ein farblos erscheinendes homogenes Licht und ein Blau-Rotgemisch zum Gegenstande. Den dritten haben wir hier vor uns, bei Vergleichung beliebiger Lichter auf der total farbenblinden Netzhautzone. Es wird hier der geeignete Ort sein, um anzuführen, dafs man sich hiervon mit relativ einfachen Hilfsmitteln eine sehr gute und durchaus beweisende Anschauung verschaffen kann. Man befestige ein Schnitzel roten Papiers auf einem dunkelgrauen Blatt und zwar wähle man das letztere so, dafs wenn man in voller Tagesbeleuchtung und am Rande des nasalen Gesichtsfeldes beobachtet, das Rot noch deutlich, jedoch nicht gar zu stark, hell auf dunklerem Grunde erscheint. Betrachtet

des Dunkelapparats zu ermitteln, wozu auch schliefslich noch der für die Prüfung eines solchen Satzes sehr störende Einflufs der Makulatingierung kommt.

man die gleiche Kombination in ganz schwachem Tageslicht und mit dunkeladaptiertem Auge, so sieht man parazentral wie auch in gröfseren Exzentrizitäten das Rot als tiefdunkeln Fleck auf hellerem Grunde. Gegen die Beweiskraft dieses Versuchs könnte allenfalls angeführt werden, dafs bei der Hellbeobachtung das Rot doch vielleicht ein wenig gelb gesehen werde. Indessen ist dies thatsächlich nicht der Fall; wenn man bei hinreichend abduciertem Auge, das Objekt vorsichtig von der nasalen Seite ins Gesichtsfeld bringt und es nicht gar zu grofs wählt, so erscheint es mir wenigstens (wie es ja auch von allen früheren Beobachtern angegeben wird) völlig farblos.

Der sehr fragwürdige Gedanke, dafs die unter der Schwelle bleibenden Farbenempfindungen hier bereits auf die Helligkeit influierten, wird auch, wenigstens von Hering, keine Vertretung finden, da seine ganze Lehre von der spezifischen Helligkeit der Farben ja auf der Voraussetzung beruht, dafs die unter der Schwelle bleibenden Farbenempfindungen die Helligkeit nicht beeinflussen. Schliefslich aber wird der ganze Einwand in einer sehr einfachen Weise dadurch abgeschnitten, dafs der Versuch, wenn auch weniger frappant, doch ganz deutlich auch mit einem bläulichen Rot gelingt, welches bei vorsichtiger Einführung ins Gesichtsfeld von der nasalen Seite her zuerst blau erscheint. Auch dieses Blaurot sehen wir bei der Hellbeobachtung heller, bei der Dunkelbeobachtung dunkler als die farblos graue Umgebung. Man kann hierzu das blaurote Papier gewisser von von Rothe gelieferter und für den Farbenkreisel bestimmter Scheiben benutzen.

Ganz ähnlich kann man natürlich blaue Schnitzel auf rotem Grunde bei der Hellbeobachtung dunkel auf hell, bei der Dunkelbeochtung hell auf dunkel erscheinen sehen.

Die Thatsache, auf die es uns wesentlich ankommt und welche von der Untersuchung ganz anders herausgestellt worden ist, als die Theorie der Gegenfarben erwarten liefs, ist, wie oben schon bemerkt, die, dafs die total farbenblinde Zone der Netzhaut (helladaptiert) ganz anders sieht, als das normale Auge beim Dämmerungssehen. Ich möchte darauf aufmerksam machen, wie sehr viel verwickelter die Dinge in Wirklichkeit liegen, als man sie nach der Hering'schen Theorie zu konstruieren gewohnt war. Ihr zufolge nahm man an, dafs überall, wo keine Farben gesehen werden, die schwarzweifse Sehsubstanz allein funktioniere;

deren Beschaffenheit mufste also für die Helligkeitsverhältnisse der verschiedenen Lichter mafsgebend sein und es konnte daher auch nur eine einzige Art achromatischen Sehens geben. Dies schien sich darin zu bestätigen, dafs, wie Hering fand, das Dämmerungssehen des normalen Auges mit dem Sehen des total Farbenblinden übereinstimmt. Die Untersuchung der Peripherie lehrt uns aber, dafs es daneben noch mindestens zwei weitere Arten totaler Farbenblindheit giebt, bei welchen die Helligkeitsverhältnisse der verschiedenen Lichter andere sind: diejenigen nämlich, die wir in der äufsersten Zone des normalen und des protanopischen Sehorgans bei helladaptiertem Zustande finden, wozu vielleicht als nochmals verschieden die des deuteranopischen Auges zu rechnen ist. Also nicht eine, sondern mindestens drei verschiedene Beschaffenheiten des Sehorgans können wir aufweisen, die alle darin übereinstimmen, dafs nur Hell und Dunkel gesehen wird und die doch von einander durch die Reizwerte der verschiedenen Lichter (Helligkeitsverteilung im Spektrum) deutlich verschieden sind.

Ein weiterer Punkt, der hier hervorzuheben ist, betrifft den Unterschied des protanopischen und deuteranopischen Sehorgans. Handelte es sich, wie die Theorie der Gegenfarben annahm, in beiden Fällen um „Rot-Grünblinde“, deren relative Gelb- resp. Blausichtigkeit vorzugsweise auf Unterschiede der Makulatingierung zurückzuführen war, so müfste man erwarten, dafs bei stark exzentrischem Sehen die einen und die andern nahezu oder genau dieselben Verhältnisse darbieten würden. Die Beobachtung lehrt in der schlagendsten Weise das Gegenteil. Der Unterschied des protanopischen und des deuteranopischen Sehorgans besteht in der Peripherie bis zu den gröfsten Exzentrizitäten in derselben typischen Deutlichkeit wie im Zentrum.

Wenn ich hiernach konstatieren mufs, dafs in vieler Beziehung sich die Dinge thatsächlich anders verhalten als dies im Sinne Hering's angenommen und behauptet worden ist, so habe ich auf der anderen Seite zu betonen, dafs eine positive Abweichung der Beobachtungsergebnisse, soweit ich wenigstens nach dem in der Litteratur Niedergelegten urteilen kann, doch nicht vorhanden ist. Die Anschauungen der Hering'schen Schule über das Sehen der peripheren Teile stützen sich vorzugsweise auf

die ohne Zweifel sehr sorgfältigen Untersuchungen von Hess (*Archiv f. Ophthalmologie* XXXV, 4. S. 1).

Ich habe die Ergebnisse dieser Arbeit, so weit es in meinem Plane lag, sie nachzuprüfen, nur bestätigen können und zweifle nicht an der Richtigkeit auch der andern von mir nicht durch besondere Versuche kontrolierten Angaben. Soweit ich sehe, ist aber die Untersuchung gerade auf diejenigen Punkte, die mir von entscheidender Bedeutung zu sein scheinen, nicht erstreckt worden.

Allerdings führt § 6 der genannten Arbeit von Hess die Überschrift „Messung der weifsen Valenz der Pigmentfarben für die extramakulare Netzhautzone". Allein ein direkter Vergleich der hier gemessenen weifsen Valenzen mit den nach Hering und Hillebrand bestimmten (den Dämmerungswerten) ist nicht ausgeführt worden. H. bestimmt vielmehr durch Peripheriebeobachtung den Weifswert eines „invariabeln Rot" und eines „invariabeln Grün" und findet sodann, dafs diese beiden, auf den Kreisel in komplementären Mengen gemischt, nunmehr für parazentrale Beobachtung einen Weifswert haben, der mit demjenigen übereinstimmt, welcher sich aus den hierbei angewandten Mengen Rot und Grün und aus ihren durch Peripheriebeobachtung bestimmten Weifswerten berechnet. Diese Übereinstimmung mufs in der That bestehen, sofern die parazentral gültige Gleichung auch für die Peripheriebeobachtung zutrifft und durchweg das Newton'sche Farbenmischungsgesetz gültig ist. Das aus Rot und Grün gemischte Weifs ist zentral und somit auch peripher einer gewifsen Menge gemischten Weifs äquivalent. Peripher, wo sowohl das Rot als das Grün für sich gewissen Weifsmengen gleich erscheint, läfst sich jene Weifsmenge in den dem Rot und den dem Grün äquivalenten Betrag aufteilen. Die hier gefundene Bestätigung entspricht durchaus unsern Erwartungen, da hier stets mit helladaptiertem Auge gearbeitet wurde. Das Gleiche gilt für die entsprechenden Versuche mit Gelb und Blau. Im folgenden Paragraphen, der das allmähliche Abnehmen des Rot-Grün-Sinnes sowie des Gelb-Blau-Sinnes bei wachsendem Abstand vom Zentrum behandelt, sind allerdings Kontrollversuche erwähnt, die wohl mit dunkeladaptiertem Auge angestellt wurden (S. 41); auch ist (S. 48) die Benutzung von Papieren erwähnt, deren weifse Valenzen nach Hering und Hillebrand, d. h. als Dämmerungswerte ermittelt waren. Dafs sich hierbei keine

Differenzen und Widersprüche herausgestellt haben, kann vielleicht auffallen. Indessen gestatten, wie mir scheint, unsere Vorstellungen über die Bedingungen, von denen die sogen. spezifischen Schwellenwerte (Grenzen für die Erkennung der Farbe) abhängen, hierüber vorderhand kein abschliefsendes Urteil. Ein direkter Vergleich zwischen den durch Dämmerungsbeobachtungen und den nach der Peripheriemethode ermittelten „Weifswerten" liegt, wie gesagt, nicht vor. — Was die Dichromaten anlangt, so sagt Hess (S. 56), dafs die für seine rot-grünblinde Netzhautzone hergestellten Kreiselgleichungen „genau oder nahezu genau für die zentrale Netzhaut von zwei sogenannten Grünblinden (relativ gelbsichtigen Rot-grünblinden nach Hering) stimmten". Hiermit ist unsere Beobachtung im Einklange. Ob eine ähnliche Prüfung an Protanopen (blausichtigen Rot-grünblinden nach Hering) nicht angestellt werden konnte, oder ob hier die Gleichungen der normalen Peripherie etwa n i c h t anerkannt wurden, teilt Hess nicht mit. Auch ist der an dieser Stelle angekündigte ausführlichere Bericht „über die Beziehungen zwischen dem Farbensinn unserer rot-grünblinden Netzhautzone und jener der (total) Rot-grünblinden" meines Wissens nicht erschienen.

Die im obigen mitgeteilten Thatsachen sind, wie mir scheint, für die praktische Aufgabe einer rationellen Untersuchung der Netzhautperipherie (Aufnahme von Farbengesichtsfeldern etc.) von einiger Bedeutung. Man wird es zunächst als richtig erachten müssen, die Untersuchung des Farbensinns bei helladaptiertem Auge vorzunehmen. Nicht minder auch wird es geboten erscheinen, der Untersuchung die sogen. reinen Farben zu Grunde zu legen, insbesondere ein Rot und ein Grün, welche in gröfseren Exzentrizitäten weder Gelb noch Blau erscheinen. Und schliefslich wird auch die Forderung festzuhalten sein, dafs die benutzten Muster von Rot und Grün, ebenso die von Gelb und Blau einander chromatisch äquivalent und von gleichem Helligkeitswerte sind. Wenn wir so in der Hauptsache die Untersuchungsprinzipien nur gut heifsen können, wie sie von Hegg formuliert und von Pflüger in ausgedehnter Weise zur Anwendung gebracht worden sind, so haben wir dieselben nur in einem Punkte genauer auszudrücken. Hegg fordert, von den Begriffen der Hering'schen Theorie ausgehend, gleichen „Weifswert" der Farbenmuster. Unsere Untersuchungen lehren, dafs es einen

Weifswert in so prägnantem Sinne, wie es hier angenommen wurde, überhaupt nicht giebt. Ein rotes und ein grünes, ebenso ein gelbes und ein blaues Muster können wohl dämmerungsgleich oder peripheriegleich gemacht werden; unmöglich aber ist es, diese beiden Anforderungen zu vereinigen. Auf dem Boden des gegenwärtig Bekannten sollten, wie mir scheint, für die Farbenmuster gleiche Peripheriewerte, d. h. gleiche Helligkeit für die (helladaptierte) Peripherie gefordert werden. Ich war bei dieser Sachlage einigermafsen gespannt, ob die von Pflüger eingeführten Muster auf gleiche Peripheriewerte, oder aber auf gleiche Dämmerungswerte gestellt sein würden. Die Untersuchung derjenigen Muster, die ich durch freundliche Vermittelung von Herrn Prof. Pflüger (von Pfister & Streit in Bern) erhielt, zeigt sehr deutlich, dafs das Erstere der Fall war: Die Muster besafsen mit gröfster Annäherung gleiche Peripheriewerte, während die Dämmerungswerte erheblich verschieden waren. Die Muster entsprechen also in der That mit Annäherung den aus der Theorie sich ergebenden Anforderungen. Wahrscheinlich dürfte dies wohl daher rühren, dafs für die Kontrollierung gleicher „Weifswerte" hauptsächlich Peripheriebeobachtungen, nicht aber die andern von Hering empfohlenen Verfahrungsweisen (Dämmerungsbeobachtungen oder Gleichungen eines total Farbenblinden) benutzt zu werden pflegen. Dafs die grofsen Unterschiede dieser letzteren Bestimmungsweise nicht bemerkt worden sind, beruht z. T. vielleicht auch darauf, dafs die benutzten Muster durchweg von sehr geringer Sättigung sind, die Unterschiede also nicht sehr stark werden. In der That sind die mir übersandten Muster hinsichtlich ihrer Dämmerungswerte zwar, wie gesagt, deutlich, aber doch nicht annähernd so stark unterschieden, wie man es bei intensiv gefärbten Papieren findet.

Wie weit es sich empfiehlt, solche ungesättigte Farbenmuster für die Untersuchung zu benutzen, wage ich nicht zu beurteilen. Sobald aber Anlafs gegeben wäre, gesättigtere zu verwenden, würde es unerläfslich sein, den hier hervorgehobenen Unterschied der „Peripheriegleichheit" von der „Dämmerungsgleichheit" oder der Gleichheit der Stäbchenvalenz sorgfältig zu berücksichtigen.

(Aus dem Physiologischen Institut zu Freiburg i. Br.)

Über die absolute Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhautteile im dunkeladaptierten Auge.

(Nach Versuchen der Herren Dr. Breuer und A. Pertz.)

Von

J. von Kries.

(Mit 4 Fig.)

Seit lange ist bekannt, dafs die Fovea centralis eine geringere absolute Lichtempfindlichkeit besitzt, als die exzentrischen Teile der Netzhaut, d. h. dafs stärkere Lichtreize auf sie einwirken müssen, um eine merkliche Lichtempfindung hervorzurufen. Wenn in Bezug hierauf die älteren Angaben mancherlei Widersprechendes enthalten, so wissen wir gegenwärtig, worauf in der Hauptsache diese Differenzen zurückzuführen sind. Die Steigerung der Empfindlichkeit durch Adaptation kommt nämlich ausschliefslich den extrafovealen Teilen der Netzhaut zugute, während die Fovea selbst an dieser Steigerung nicht, jedenfalls nicht in nennenswerter Weise, partizipiert. So ist denn das Übergewicht der extrafovealen Teile über die Fovea im dunkeladaptierten Auge ein sehr beträchtliches, während es bei gröfserer Helladaptierung immer geringer und vermutlich sogar meist in sein Gegenteil verkehrt wird. Die Unterempfindlichkeit der Stelle des deutlichsten Sehens bei guter (sogar schon bei mäfsiger) Dunkeladaptation zu konstatieren, gelingt ungemein leicht. Es ist nur notwendig, sich auf einem tiefdunkeln Hintergrunde eine gröfsere Anzahl kleiner lichtschwacher Objekte zu verschaffen, etwa von solcher Lichtstärke, dafs sie überhaupt erst nach einem Dunkelaufenthalt von 5—10 Minuten wahrnehmbar werden. Man wird dann leicht bemerken, dafs von diesen Ob-

jekten (sofern sie klein genug sind[1]), stets dasjenige verschwindet, welchem man den Blick direkt zuwendet.

Eine messende Untersuchung des Gegenstandes wird, wie man hiernach schon sagen kann, Aussicht auf konstante und vergleichbare Ergebnisse nur dann haben, wenn sie unter der Bedingung maximaler Dunkeladaptation ausgeführt wird. Teils aus diesem Grunde schien mir eine erneute Bearbeitung des Gegenstandes erwünscht, zum Teil aber auch deswegen, weil in den älteren Versuchen in der Regel die Steigerungen der Empfindlichkeit, welche bereits in sehr kleinen Abständen vom Zentrum auftreten, nicht mit genügender Schärfe berücksichtigt worden sind.

Da man die ganze Hemeralopie der Fovea selbst damals noch nicht kannte, auch noch keinen theoretischen Grund hatte, erhebliche Änderungen schon in ganz geringen Abständen vom Zentrum zu erwarten, so erschien es öfter ausreichend, z. B. das Zentrum mit einer Stelle in 5° Zentralabstand zu vergleichen, wobei gewisse vorzugsweise interessante Details aufser Betracht bleiben. Aufserdem aber hatte man auch noch keinen Anlafs, bei der Ermittelung der zentralen Empfindlichkeit einer ganz genau fovealen Fixation eine so peinliche Sorgfalt zuzuwenden, wie dies jetzt geboten erscheint, und so dürfte in manchen Fällen wohl eine parazentrale Empfindlichkeit statt der wirklich zentralen ermittelt worden sein.

Versuche in der erwähnten Richtung sind im Laufe des letzten Jahres von den Herren Dr. Breuer und Dr. Pertz angestellt worden, nach etwas verschiedenen Methoden. Obgleich das von Herrn Pertz benutzte Verfahren in vieler Beziehung das vollkommnere war, will ich doch zunächst auch über die Versuche Breuers berichten.

I.

Es war bei dieser ersten Reihe hier mitzuteilender Versuche gerade auf die Prüfung der Empfindlichkeit in kleinen Zentralabständen abgesehen und wurde aus diesen Gründen eine ebene Verschiebung der zur Prüfung dienenden Objekte angewandt. Im einzelnen war das Verfahren in folgender Weise hergerichtet:

[1] Eine Ausdehnung von $^1/_4$—$^1/_2$° ist am meisten zu empfehlen.

der Beobachter, dessen Kopf durch einen passenden Halter fixiert war, hatte sich gegenüber in 50 cm Augenabstand ein vertikal aufgestelltes ebenes mit schwarzem Sammet überzogenes Brett. Dem beobachtenden Auge gerade gegenüber war in diesem Brett eine Öffnung angebracht, die von hinten her mit einem Stück Milchglas bedeckt war. In den Sammet wurde etwa über der Mitte jener Öffnung mit der Nadel ein feines Loch eingestochen und man erhielt so bei Aufstellung einer Gasflamme hinter dem Milchglas ein sehr kleines, in seiner Helligkeit leicht passend regulierbares Fixationszeichen. Die Helligkeit wurde stets so gewählt, dafs das Zeichen durch genaue Fixation niemals zum Verschwinden gebracht werden konnte, aber sie wurde über den hierfür erforderlichen Wert nicht sehr erheblich gesteigert, so dafs der auf die Fovea ausgeübte Lichtreiz immerhin ein sehr geringer war. Als eigentliche Prüfungsobjekte dienten runde Papierscheibchen, welche verschieden stark beleuchtet werden konnten; sie waren an Trägern befestigt, die auf einem langen Stabe mittels Schlittenführung verschieblich waren, so dafs die Scheibchen, in horizontaler Richtung beweglich, dem Fixierzeichen angenähert oder von ihm entfernt werden konnten. Ihr Durchmesser betrug 3 mm, so dafs sie unter einem Winkel von 0,35° gesehen wurden. Ihre Mitte befand sich mit dem Fixierzeichen auf gleicher Höhe. Da nun die Versuche sogleich herausstellten, dafs die Empfindlichkeit selbst bei mäfsigen Exzentrizitäten gegenüber der zentralen sehr erheblich anwächst, exzentrisch sichtbare Objekte also bei Annäherung an den Fixierpunkt unsichtbar werden, so wurde so zu Werk gegangen, dafs bei passend gewählten Helligkeiten der Objekte diejenigen Abstände vom Zentrum gesucht wurden, in denen sie nicht mehr sichtbar waren. Hierdurch war die, technisch niemals sehr bequeme Varierung der Helligkeit innerhalb des einzelnen Versuchs umgangen und statt dessen, ähnlich wie bei Gesichtsfeldversuchen am Perimeter die Verschiebung des Objektes zur Aufgabe gemacht, welche hier vom Beobachter leicht und bequem besorgt werden konnte. Da die Papierscheibchen ein wenig vor dem Fixierzeichen lagen, so konnte ihr Abstand von einander leichter als der vom Fixierzeichen bestimmt werden; in einer ersten Reihe von Versuchen wurde daher nicht der Abstand eines einzelnen Scheibchens vom Fixierzeichen bestimmt, der erforderlich war um es unsichtbar zu machen, sondern es wurden beide Scheibchen von rechts und

links so weit angenähert, bis beide verschwanden. Der Abstand ihrer äufseren Ränder konnte dann als die horizontale Breite des Verschwindungsbezirks für die gerade benutzte Helligkeit und Objektgröfse bezeichnet werden. In späteren Versuchen wurde dagegen, weil sich die nicht symmetrische Lage des Verschwindungsbezirkes gegen den Fixierpunkt herausgestellt hatte, jeweils nur mit einem Scheibchen gearbeitet und alsdann dessen Abstand von derjenigen Stellung ermittelt, bei welcher sein (rechter oder linker) Rand gerade mit dem Fixierzeichen zur Deckung kam, so dafs auf diese Weise die Erstreckung des Bezirks, innerhalb dessen das Objekt unsichtbar war, vom Fixierpunkt an gemessen werden konnte.

Überflüssig wäre es, die kleinen Hilfsmittel für die Ausführung der Messungen anzugeben. In der Regel wurde die Stellung der Scheiben nicht an der Millimetereinteilung des sie tragenden Stabes abgelesen, was ohne störende Beeinträchtigung der erreichten Dunkeladaptation nicht ausführbar gewesen wäre; vielmehr waren die Schieber mit horizontalen federnden Stahlblättchen versehen, welche Nadelspitzen trugen. Durch Niederdrückung derselben wurden an untergeschobenen Kartonblättchen feine Marken gemacht, deren Abstand hinterher ausgemessen werden konnte.

Wichtiger sind einige Punkte in Bezug auf die Ausführung der Versuche. Vor allem ist zu bemerken, dafs niemals in der Weise vorgegangen wurde, dafs etwa bei festgehaltener Fixation die Scheibchen hin- und hergeschoben worden wären, um den Punkt des Verschwindens zu ermitteln. Vielmehr wurde immer, nachdem den Scheibchen eine bestimmte Stellung gegeben war, der Blick zunächst etwas über oder unter den Objekten beliebig bewegt, dann dem Fixierzeichen plötzlich fest zugewandt und geprüft ob hierbei die Scheibchen sichtbar blieben oder unsichtbar wurden. Nur auf diese Weise konnte man hoffen, eine störende Ermüdung der geprüften Netzhautpartieen zu vermeiden. In den meisten Fällen wurde auch die foveale Empfindlichkeit selbst bestimmt; hier mufste natürlich die Stärke der Beleuchtung variiert werden um diejenige zu finden, bei welcher eines der benutzten Scheibchen bei direkter Fixation eben nicht mehr verschwand.[1]

[1] Mit Rücksicht auf das zuweilen geäufserte Bedenken, dafs die zentrale Empfindlichkeit mit fixiertem, die exzentrische dagegen meist mit

Was die Herstellung und Messung der verschiedenen Helligkeiten anlangt, so geschah sie durch Variierung des Abstandes einer auf konstanter Höhe gehaltenen Gasflamme. In der Regel wurde ein Brenner benutzt, bei welchem das Gas aus einer runden Öffnung von 1,5 mm Durchmesser ausströmte; die Flamme wurde dabei auf einer bestimmten Höhe (fast immer 2 cm) gehalten, die an dem mit Teilung versehenen Glaszylinder kontrolliert wurde. Eine passend aufgestellte Bahn gestattete die Entfernung der Flamme von den Objekten von 40 cm bis etwas über 6 m zu variieren. Da in einem Zimmer gearbeitet wurde, in dem Wände, Decke und alle gröfseren Gegenstände schwarz angestrichen waren, so war die Helligkeit der Objekte ohne erheblichen Fehler dem Quadrate des Abstandes der Lichtquelle umgekehrt proportional zu setzen. Selbstverständlich war Sorge getragen, dafs von derjenigen Flamme, welche zur Erleuchtung des Fixierzeichens diente, keine merklichen Lichtmengen sich im Zimmer verteilen konnten.

Ein gewisser Mangel der Breuer'schen Versuche bestand aber darin, dafs bei ihnen stets ein gemischtes, seiner Qualität nach nicht genau definiertes Licht angewandt wurde. Die Benutzung des gewöhnlichen Gaslichtes erschien nicht vorzugsweise ratsam, weil bereits bekannt war, dafs die hauptsächlich interessierende extrafoveale Empfindlichkeitssteigerung bei Anwendung eines rein weifsen oder schwach bläulichen Lichtes sehr viel stärker ist. Die Flammen wurden daher mit käuflichen blauen Zylindern umgeben. Die Verteilung der Empfindlichkeit in topographischer Weise zu ermitteln, konnte man natürlich auf diese Weise hoffen, wenn allerdings auch die Ergebnisse wegen der undefinierten Art des benutzten Lichtes keine allgemeinere Vergleichbarkeit besitzen konnten. Wenn ich noch erwähne, dafs stets dem Beginn der Versuche eine mindestens $1/2$ stündige Dunkeladaptation vorausging, so dürfte damit das Wesentlichste, was über die Technik der Breuer'schen Versuche anzuführen ist, erschöpft sein.

---

wanderndem Blick, also unter wesentlich günstigeren Bedingungen geprüft werde, sei hier besonders darauf hingewiesen, dafs zentrale und exzentrische Empfindlichkeit unter genau gleichen Bedingungen untersucht werden, beide nämlich so, dafs im Augenblick, wo der Versuch beginnt, das Netzhautbild auf die zu prüfende Stelle gebracht wird und dann dort fixiert bleibt.

Da die Versuche, bei denen nur die Gesamtgröfse des Verschwindungsbezirks ermittelt wurde, nur eine vorläufige Bedeutung besafsen, so genügt es hier summarisch das mittlere Ergebnis mehrerer Versuchsreihen anzuführen. Ich gebe dasselbe in der folgenden Tabelle in der Weise, dafs im 1. Stabe die Helligkeit als Bruchteil derjenigen, die als fovealer Schwellenwert ermittelt worden war, angegeben ist; der 2. Stab giebt den horizontalen Durchmesser des zentralen Verschwindungsbezirks; der 3. giebt den reziproken Wert der im ersten Stabe aufgeführten Helligkeiten; seine Zahlen können also als Mafs für die am Rande der betreffenden Bezirke vorhandenen Empfindlichkeiten benutzt werden.

Tabelle I.

Helligkeit	Verschwindungsbezirke	Empfindlichkeit am Rande der Bezirke
0,45	1° 43′	2,2
0,2	2° 20′	5,0
0,05	4°	20,0
0,022	6° 25′	45,0
0,0125	7° 41′	80,0
0,008	8° 36′	125,0
0,0056	9° 59′	180,0

Die Resultate derjenigen Versuche, bei welchen die temporale und nasale Seite der Verschwindungsbezirke gesondert bestimmt wurde, sind in den nachstehenden Tabellen II—V zusammengestellt; dieselben enthalten im 1. Stabe die Helligkeit des Objekts in einer willkürlichen Einheit[1], im 2. die reziproken Werte

[1] Die hier als Einheit zu Grunde gelegte Helligkeit ist hier stets annähernd die Hälfte des zentralen Schwellenwerts gewesen, doch ist eine jedesmalige Bestimmung dieses letzteren nicht vorgenommen worden, sondern es wurde, nachdem für denselben eine Anzahl von Werten ermittelt worden war, immer sogleich mit einer etwa der Hälfte dieses Werts gleichkommenden Beleuchtung begonnen.

dieser Helligkeiten, welche als Mafs der in dem betreffenden Zentralabstand sich findenden Empfindlichkeit gelten können, im 3. die temporale, im 4. die nasale Erstreckung des Verschwindungsbezirks, im 5. die Summe beider. Die Tabellen II—V geben die Resultate von 4 derartigen Beobachtungsreihen, wobei wieder jede Zahl der Mittelwert von 4 Einstellungen ist. In Tabelle V sind die in einem gleichzeitig (resp. alternierend) ausgeführten Parallelversuche von Dr. NAGEL gefundenen Werte im 6. bis 8. Stabe hinzugefügt.

Tabelle II. (Beob. BREUER).

Lichtstärke	Empfind- lichkeit	Temporaler Abstand in Graden	Nasaler Abstand in Graden	Breite des Verschwindungsbezirks in Graden
1	1	1,02	0,87	1,89
0,56	1,78	1,14	0,82	1,96
0,14	7,12	1,78	1,09	2,68
0,062	16,02	2,36	1,98	4,34
0,035	28,48	3,58	2,95	6,53
0,022	44,50	4,58	3,96	8,54
0,016	64,08	4,40	4,87	9,27

Tabelle III.

1	1	0,95	0,69	1,64
0,56	1,78	1,14	1,19	2,33
0,14	7,12	1,66	1,44	3,10
0,062	16,02	2,12	1,89	4,01
0,035	28,48	3,0	2,8	5,80
0,022	44,50	2,93	2,88	5,81
0,016	64,08	4,60	4,01	8,61

Tabelle IV.

Lichtstärke	Empfindlichkeit	Temporaler Abstand in Graden	Nasaler Abstand in Graden	Breite des Verschwindungsbezirks in Graden
1	1	0,98	0,85	1,84
0,56	1,78	1,25	1,09	2,35
0,14	7,12	1,66	1,49	3,15
0,062	16,02	2,24	1,71	3,41
0,035	28,48	2,8	2,24	5,04
0,022	44,50	4,07	3,15	7,22
0,016	64,08	3,67	3,2	6,87

Tabelle V.

		Breuer.			Dr. Nagel.		
Lichsstärke	Empfindlichkeit	Temporaler Abstand	Nasaler Abstand	Breite des Verschwindungsbezirks	Temporaler Abstand	Nasaler Abstand	Breite des Verschwindungsbezirks
1	1	1,32	0,98	2,30	1,30	0,76	2,06
0,56	1,38	1,36	1,12	2,48	1,5	0,90	2,40
0,14	7,12	1,71	1,55	3,26	1,84	1,22	3,06
0,062	16,02	2,46	2,06	4,52	2,90	2,35	5,25
0,035	28,48	2,58	2,35	4,93	5,23	3,23	8,46

Bei der nahen Übereinstimmung aller Ergebnisse wird es zulässig sein, ein Gesamtmittel aus den Resultaten der Tab. II—V zu nehmen, welches die folgende Tabelle VI enthält. Sie führt im ersten Stabe die Empfindlichkeiten im zweiten und dritten die (nasalen und temporalen) Abstände an, in welchen dieselben gefunden werden, im vierten die Gröfse des ganzen unterhalb der betr. Empfindlichkeit bleibenden Bezirks.

Tabelle VI.

Empfindlichkeit	Temporaler Abstand in Graden	Nasaler Abstand in Graden	Breite des Verschwindungsbezirks in Graden
1	1,07	0,85	1,92
1,78	1,22	1,06	2,28
7,12	1,70	1,38	3,08
16,02	2,3	1,92	4,22
28,48	3,0	2,58	5,58
44,50	3,75	3,33	7,08
64,08	4,04	4,04	8,08

Als Ergebnis der mitgeteilten Versuche würde zunächst zu fixieren sein, dafs die Empfindlichkeit gegen die hier benutzten gemischten Lichter innerhalb eines ein wenig über 2° messenden

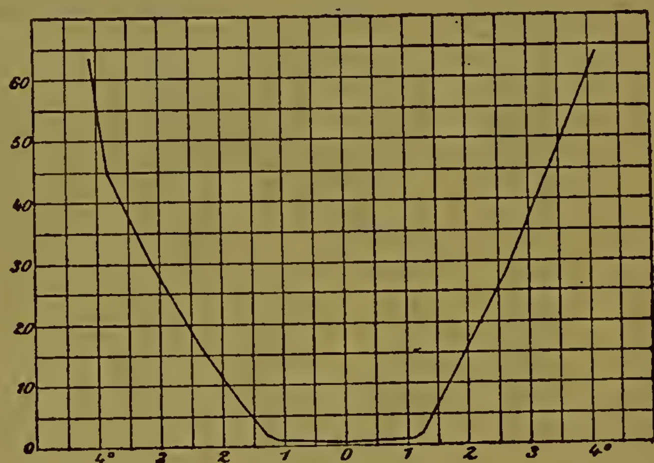


Fig. 1. Empfindlichkeit für gemischtes (bläulich-weifses) Licht in der Fovea centralis und ihrer näheren Umgebung. Links temporales, rechts nasales Gesichtsfeld.

Bezirks äufserst wenig, von da ab rapide gegen die Peripherie hin ansteigt. Die Steigerung der Empfindlichkeit erfolgt, wie man sieht, auf der nasalen Seite (des Gesichtsfeldes) deutlich schneller, als auf der temporalen. Im übrigen wird die graphische Darstellung in Fig. 1, welcher die Zahlen der Tab. VI. zu Grunde

liegen (die Zentralabstände sind als Abscisse, die Empfindlichkeiten als Ordinaten aufgetragen) die Gestaltung der Dinge genügend veranschaulichen.

Obgleich nun das Hauptinteresse der Untersuchung sich allerdings auf die nähere Umgebung des Zentrums richtete, so war es doch wünschenswert, wenigstens ungefähr zu ermitteln, bis zu welchen Abständen sich die Zunahme der Empfindlichkeit verfolgen läfst.

Für die Untersuchung gröfserer Exzentrizität war jedoch das gleiche Verfahren nicht wohl anwendbar. Denn da hier die Empfindlichkeit sich viel allmählicher ändert als in kleinen Abständen vom Zentrum, so ist die Ermittelung eines Verschwindungsbezirks schwierig und unsicher. Es wurde daher, um über den weiteren Gang wenigstens eine gewisse Vorstellung zu bekommen, so verfahren, dafs dasselbe Objekt abwechselnd mit 6°, 12° und 18° Exzentrizität betrachtet und jedesmal durch Variierung der Beleuchtungsstärke der Schwellenwert der Sichtbarkeit aufgesucht wurde. Bei diesen Versuchen wurde der Kopfhalter gegen das Fixierzeichen derart verschoben, dafs, wenn das Objekt dem Auge gerade gegenüber stand, das Fixierzeichen um 12° davon entfernt war; wenn dann das Objekt um 6° nach der einen oder andern Richtung verschoben war, so wurde es nunmehr noch unter einem Winkel von 84° gesehen, so dafs die Verkleinerung des Gesichtswinkels aufser acht gelassen werden konnte. Die Beleuchtung wurde hierbei auch durch Wechsel des Flammenabstandes variiert, jedoch (um nicht zu grofse Entfernungen oder zu kleine Flammen benutzen zu müssen) mit der Modifikation, dafs die Flamme feststand, ihr Licht jedoch nicht direkt, sondern von einem ebnen Spiegel reflektiert, auf das Objekt traf. Indem der Spiegel auf einer langen Bahn verschieblich angebracht war, verschob sich das das Objekt beleuchtende virtuelle Bild der Flamme um die doppelten Werte und es konnte so die Stärke der Beleuchtung ohne Schwierigkeit ermittelt werden. Auf diese Weise fand sich, die Empfindlichkeit bei 6° Abstand = 1 gesetzt, temporal bei 12° 1,38; bei 18° 1,64; nasal bei 12° 1,54 bei 18° 1,37. Man sieht also, dafs das anfänglich rapide Ansteigen in gröfseren Abständen einem sehr langsamen Platz macht und schliefslich aufhört.

II.

Von den Untersuchungen des Herrn Breuer unterscheiden sich die des Herrn Pertz hauptsächlich in einer Beziehung. Es war nämlich bei den Breuer'schen Versuchen zum Zwecke einer genauen Feststellung der Blickrichtung stets ein Fixierzeichen sichtbar. Nun ist bekannt, dafs die direkte Wahrnehmung eines helleren Lichts die Sichtbarkeit exzentrisch erscheinender lichtschwacher Objekte beeinträchtigt. Obwohl ein Einflufs dieses Umstandes bei der Kleinheit und geringen Lichtstärke der Fixationsmarke nicht sehr wahrscheinlich war, so erschien es doch denkbar, dafs derselbe, namentlich bei sehr kleinen Abständen vom Zentrum sich bemerklich machte, und war es demgemäfs erwünscht, ihn auszuschliefsen. Hierfür bot sich, da die Benutzung einer Fixationsmarke anderseits aus den schon oben erörterten Gründen ganz unerläfslich war, nur der Modus einer alternierenden Darbietung des Fixierzeichens einerseits, des auf seine Sichtbarkeit zu prüfenden Objekts andrerseits. Dies wurde in folgender Weise zur Ausführung gebracht. Unmittelbar vor dem beobachtenden Auge befand sich ein mikroskopisches Deckgläschen, welches, an einem langen Hebel befestigt durch einen Fingerdruck soweit herabbewegt werden konnte, dafs das Auge darüber hinwegsah. Bei Hochstellung des Deckgläschens konnte, da die Hinterfläche desselben mit schwarzem Papier bezogen war, durch dasselbe nicht durchgesehen werden; das Auge erblickte lediglich durch Spiegelung an der Vorderfläche ein kleines elektrisches Glühlämpchen, dessen Spiegelbild als Fixiermarke diente. Bei Niederdrückung des Hebels verschwand dieses Spiegelbild und das Auge hatte nunmehr frei sich gegenüber das auf seine Sichtbarkeit zu prüfende Objekt. Bei diesem Verfahren gilt es natürlich vor allem die Stellung des Auges in dem Moment, wo der Hebel niedergedrückt wird, unverändert festzuhalten. Die Erfahrung lehrte, dafs dies bei den ersten Versuchen nicht ganz leicht ist, aber nach kurzer Einübung mit voller Sicherheit gelingt. Zu bemerken ist dabei, dafs die schwierige Aufgabe, die Stellung des Auges ohne Fixiermarke *festzuhalten*, hier nicht, oder doch nur auf äufserst kurze Zeit, gestellt wird. Man verfährt also so, dafs man in dem Moment wo der Versuch beginnen soll, den Blick fest auf das Fixierzeichen richtet, nun einige Mal nacheinander den Hebel niederdrückt um ihn sogleich wieder

hinaufgehen zu lassen und dabei prüft, ob das Objekt sichtbar ist. In dem Augenblick in dem der Hebel die hohe Stellung wieder einnimmt hat man naturgemäfs auch sofort eine Kontrolle, ob man die Blickrichtung festgehalten hat oder nicht.[1]

Abgesehen hiervon war das Verfahren gegenüber dem Breuer'schen in noch einigen Beziehungen abgeändert. Da die Untersuchung auch etwas gröfserer Exzentrizitäten erwünscht war, so konnte die ebene Verschiebung des Objekts nicht beibehalten werden; eine Führung im Kreisbogen ist mit der Forderung einer genauen quantitativ bestimmten Helligkeitsvariierung sehr schwer vereinbar; es wurde daher auf die Verschiebung des Objekts überhaupt verzichtet und statt dessen das Fixierzeichen beweglich gemacht. Dies liefs sich sehr leicht erreichen, indem das zu spiegelnde Glühlämpchen an einem um eine vertikale Achse drehbaren Arm befestigt wurde; ein über einer Kreisteilung laufender Zeiger gestattete dann ohne weiteres die Ablesung der Winkelabstände, in denen sich das Spiegelbild des Lichtpünktchens von dem (feststehenden) Objekt befand. Das Objekt selbst war, diesen Abänderungen entsprechend, nun auch ein anderes als in den früheren Versuchen. Der Beobachter blickte nämlich in einen 120 cm langen schwarzgestrichenen Kasten hinein, in dessen Hinterwand sich die passend zu erleuchtende Öffnung befand. Da aufser den sehr geringen, durch die Öffnung selbst eindringenden Lichtmengen keine irgend nennenswerten Lichtquantitäten in den Kasten gelangen konnten, erschien das Objekt auf absolut schwarzem Grunde. Die Erleuchtung der Öffnung geschah zuerst so, dafs diese mit einer Milchglasplatte bedeckt wurde und eine konstant gehaltene Gasflamme in variable Entfernung gebracht wurde. Indessen war es hier schwierig, die Entfernungen in dem ungemein beträchtlichen Spielraum zu variieren, wie sich dies namentlich für blaues Licht als erforderlich herausstellte. Da überdies auch vielleicht bezweifelt werden konnte, ob das Milchglas das Licht so vollständig zerstreut, dafs seine Helligkeit dem Quadrat des Abstandes umgekehrt proportional gesetzt werden darf, so wurde dann hinter der Öffnung

---

[1] Dafs die Festhaltung der Blickrichtung nach Verschwinden des Fixierzeichens für mehrere Sekunden nicht wohl gelingt, stellte sich auch hier heraus, in Übereinstimmung mit den Beobachtungen Exner's (Über autokinetische Empfindungen, *diese Zeitschrift* XII, S. 321).

ein weifses Papierblatt aufgestellt, dessen Beleuchung durch Variierung des Flammenabstandes geweehselt wurde. Hier bot sieh dann zugleich sehr einfach die Mögliehkeit einer noeh weitergehenden Verminderung der Helligkeit, indem an Stelle des weifsen Blattes ein Kreisel mit schwarzem und weifsem Sektor aufgestellt wurde, so dafs die Verkleinerung des weifsen Sektors eine weitere Verminderung der Helligkeit gestattete. In der Regel wurde er auf 20—25° verkleinert, sodafs die Variierung der Flammenabstände innerhalb des gleiehen zuvor bei reinem Weifs benutzten Spielraumes nunmehr ein vergleiehbares zweites Stüek der Intensitätsreihe liefert.

Zu bemerken ist sehliefslich bezüglieh der Ausführung der Versuche noch, dafs hier stets der Beobaehter mittels eines Schnurlaufs die auf einer Bahn leicht gleitenden Flammen hin und herzusehieben hatte, bis ihm das Objekt eben sichtbar erschien. Die hiernaeh eingestellten Entfernungen wurden von einem Gehilfen abgelesen und notiert. Eine weitere Komplizierung der Methodik unter Heranziehung der mannigfaehen von der neueren Psyehophysik ausgebildeten und bei der Bestimmung von Sehwellenwerten angewandten Verfahrungsweisen sehien bei der ohnehin bedeutenden Schwierigkeit der Versuehe nieht angezeigt und, da es sieh nur um eine Vergleiehung versehiedener Netzhautstellen handelte, entbehrlieh. Wiehtig ist noeh eine Bemerkung bez. der Gröfse und der Färbung der Objekte. Um das Verhalten der Sehwellenwerte in der Fovea selbst und ihrer näehsten Umgebung zu prüfen, ersehien es wünsehenswert die Objekte noeh etwas kleiner zu nehmen, als es Breuer gethan hatte. In der Regel wurde daher eine Öffnung von 3 mm benutzt, welche, auf 120 em Entfernung gesehen, in einem Gesiehtswinkel von 8,6 Min. ersehien. Eine Ausführung der Versuehe mit homogenen Liehtern, was ja im Grunde am meisten zu wünschen gewesen wäre, war mit den uns zu Gebote stehenden Hilfsmitteln nicht möglich. Immerhin erschien die Prüfung einiger farbiger Lichter bedeutungsvoller als die eines nieht genau definierten gemisehten Liehtes. Es wurden daher die Versuehe mit rotem, gelbem und blauem Lieht ausgeführt, welche dureh Einschaltung zweier Kupferoxydulgläser, einer Lösung von doppelt chromsaurem Kali resp. einer ammoniakalisehen Kupferlösung erhalten wurden; keines derselben kann als wirklich rein oder homogen gelten, doch vereinigen sie überwiegend Lichtstrahlen aus einem nicht

gar zu weiten Spektralbezirk, so dafs man wohl vermuten darf, dafs die Resultate bei Anwendung gewisser homogener Lichter sehr ähnlich ausgefallen sein würden.

Als Ergebnis der PERTZ'schen Versuche teile ich zunächst die nachstehende Tabelle mit, welche die Verhältnisse in sehr vollständiger Weise zu übersehen gestattet. Was sie lehrt, ist in der Hauptsache Folgendes. Die Empfindlichkeit für rotes Licht in zentral am höchsten; sie sinkt im nasalen wie im temporalen Gesichtsfelde, wenn auch nicht sehr erheblich, so doch deutlich ab und ist bei 10° beiderseits etwa auf die Hälfte des fovealen Wertes herabgegangen. Für gelbes und blaues Licht steigt die Empfindlichkeit dagegen gegen die Peripherie hin beträcht-

Tabelle VII. (Dr. PERTZ).

	Temporale Empfindlichkeit für				Nasale Empfindlichkeit für		
	Blau	Gelb	Rot		Blau	Gelb	Rot
0°	1	1	1	0°	1	1	1
0,25°	1,23	1,15	0,95	0,25°	1,18	1,46	0,95
0,5°	1,54	1,76	0,76	0,5°	2,01	1,71	0,95
0,75°	2,12	2,43	0,73	0,75°	3,03	2,27	0,90
1,0°	3,78	3,65	0,70	1,0°	8,51	3,07	0,90
1,5°	16,6	5,37	0,71	1,5°	48,9	6,15	0,87
2,5°	64,2	8,99	0,55	2,5°	105,3	10,7	0,73
5,0°	265,9	9,69	0,50	5,0°	852,2	24,6	0,57
10°	687,3	20,15	0,40	10,0°	1457,0	52,6	0,51

lich an. Diese Steigerung ist erstlich für Blau noch weit gröfser als für Gelb, überdies für beide Lichtarten (bei gleichem Abstande von der Fovea) im nasalen Gesichtsfelde beträchtlicher als im temporalen. In graphischer Darstellung reproduziert Fig. 2 diese Zahlen, jedoch nur für Zentralabstände bis 2,5°, weil sonst bei Wahl einer noch erkennbaren Gröfse für die foveale Empfindlichkeit die exzentrischen über das zuläfsige Mafs hinaus wachsen würden.

Es verdient, wie mir scheint, vor allem der aufserordentlich hohe Betrag der hier konstatierten Steigerungen der Empfind-

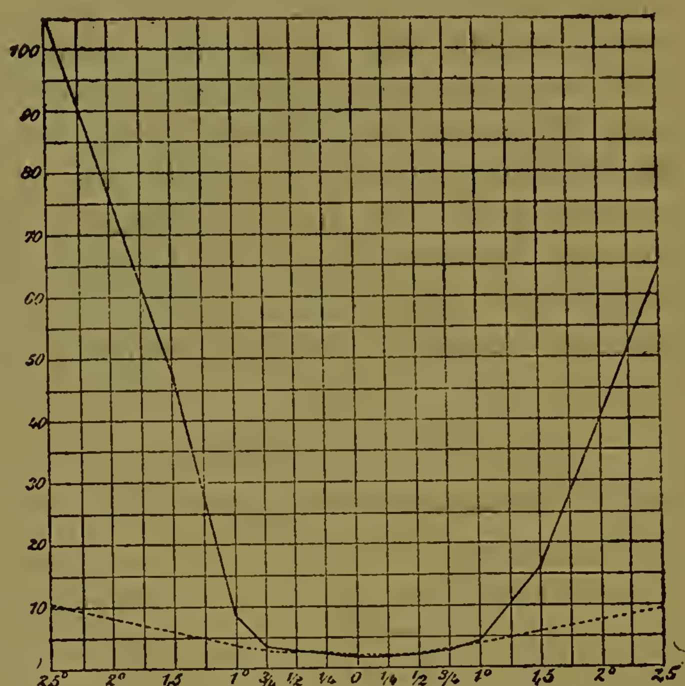


Fig. 2. Empfindlichkeit der Fovea centralis und ihrer näheren Umgebung für blaues Licht ——————— und für gelbes Licht ·····················. Links nasales, rechts temporales Gesichtsfeld.

lichkeit gegen die Peripherie hin hervorgehoben zu werden. Schwerlich dürfen wir dieses Resultat als ein gerade mit seinen numerischen Werten zu verallgemeinerndes ansehen. Denn schon aus gewöhnlicher Erfahrung ist bekannt, dafs gerade in dieser Hinsicht grofse individuelle Verschiedenheiten bestehen. Manche Personen besitzen in ganz besonders hohem Mafse die Fähigkeit in ganz schwachem Lichte zu sehen; sie haben, wie man wohl zu sagen pflegt, Katzenaugen; andere wieder leisten in dieser Hinsicht ganz besonders wenig, auch wenn man noch nicht von einer pathologischen Hemeralopie sprechen kann. Immerhin glaube ich, dafs die Ergebnisse von Herrn P. keineswegs etwas Exzeptionelles und vom Gewöhnlichen sich weit Entfernendes sind; denn auch die Herren Breuer und Nagel finden ja für gemischtes Licht ein ungemein erhebliches Übergewicht der peripheren Empfindlichkeit; auch von mir selbst kann ich, nach gelegentlich angestellten Kontrolversuchen, sagen, dafs

jedenfalls keine sehr grofsen Unterschiede gegenüber den P.'schen Zahlen bestehen. Ich glaube daher, dafs die Hemeralopie der Fovea viel beträchtlicher ist, als man bisher angenommen hat. Und ich möchte für wahrscheinlich halten, dafs die viel zu kleinen Werte, die man für jene Unterschiede gefunden hat, einfach davon abhängen, dafs bei den Ermittlungen der zentralen Empfindlichkeiten nicht wirklich zentral, sondern, wie es Breuer genannt hat, „parazentral" fixiert worden ist.[1]

Zu diesen Versuchen ist zunächst als Ergänzung hinzuzufügen, dafs, wie für Herrn Breuer so auch für Dr. Pertz benoch gröfsern Exzentrizitäten die Empfindlichkeiten nur noch wenig oder gar nicht zunehmen. Im temporalen Gesichtsfelde fand sie sich aufserhalb des blinden Fleckes deutlich geringer als bei 10°; im nasalen schien sie von 10 bis 18° noch ein wenig zuzunehmen; doch gestatten die nur in geringer Zahl ausgeführten Versuche hier keine sichern numerischen Angaben.

III.

Obwohl eine erschöpfende theoretische Erklärung der mitgeteilten Thatsachen zur Zeit wohl kaum gegeben werden kann, jedenfalls hier nicht versucht werden soll, so ist doch eine gewisse Diskussion derselben so naheliegend und wohl auch interessant, dafs sie nicht umgangen werden darf. Gehen wir von der durch eine Reihe anderer Thatsachen wahrscheinlich gemachten Annahme aus, dafs die purpurhaltigen Stäbchen die Dunkelapparate des Auges sind, so wird man keine Mühe haben, sich die Erscheinungen im grofsen und ganzen verständlich zu

---

[1] Ich möchte glauben, dafs dieser selbe Umstand, ein Nebenfixieren anstatt eines fovealen Fixierens, häufig die Quelle von Täuschungen ist. Besondere Gründe, von denen unten noch die Rede sein wird, machen dies z. B. für die Untersuchungen von E. Fick (*Pflüger's Archiv* XLIII, S. 441, 1888) wahrscheinlich. Man kann bei diesen auch kaum von einer Unachtsamkeit der Beobachtung sprechen, da aus theoretischen Gründen kein sichtbares Fixierzeichen benutzt, vielmehr die Aufgabe gestellt war, den Blick genau in die Mitte zweier schwach sichtbarer Objekte zu richten, was, wie man jetzt wohl sagen darf, eine genügende Genauigkeit der Augenstellung nicht garantiert. Dafs auch die Beobachtungen Koster's (*Arch. f. Ophth.* XLI, 4, S. 1), teilweise an den gleichen Fehlerquellen leiden, ist, wie ich (ebenda XLII, 3, S. 95) auseinandergesetzt habe, einigermafsen wahrscheinlich.

machen. Von der Hemeralopie der zentralen Bezirke überhaupt gilt dies in bekannter Weise und es ist daher gerade auf diese auch bei der Entwicklung der Stäbchentheorie verschiedentlich hingewiesen worden. Aber es gilt auch weiter von den grofsen Unterschieden, die sich hier für verschiedene Lichtarten bemerklich machen. Ohne weiteres versteht sich von selbst, dafs für rotes Licht, das auf die Stäbchen nicht merklich wirkt, die exzentrische Empfindlichkeitssteigerung überhaupt nicht Platz greift. Etwas genauer müssen wir die Dinge betrachten, um die Unterschiede zwischen gelbem und blauem Licht verständlich zu machen, und zwar wollen wir dies sogleich an der Hand der Theorie thun.

Wir könnten alsdann erwarten, dafs die Empfindlichkeit des Zapfenapparates für alle Lichter (ähnlich wie wir es für das rote Licht thatsächlich sehen) vom Zentrum gegen die Peripherie sich nur unerheblich ändern werde. In der in den Versuchen ermittelten Empfindlichkeitskurve mufs dieses Verhalten jedenfalls in dem ganz stäbchenfreien Bezirk zum Ausdruck kommen. Wenn nun bei wachsendem Abstande vom Zentrum die Stäbchen erst spärlich, dann reichlicher, also mit zunehmender Leistungsfähigkeit auftreten, so wird sich dies für jedes Licht von dem Punkte an bemerklich machen müssen, wo der auf die Stäbchen ausgeübte Effekt gegenüber dem auf die Zapfen ausgeübten in Betracht zu kommen anfängt. Die hierdurch bewirkte Steigerung der Empfindlichkeit mufs aber für jedes Licht um so beträchtlicher sein, je gröfser seine Stäbchenvalenz im Vergleich zu seiner Zapfenwirkung ist, also z. B. für blaues Licht viel gröfser als für gelbes. Wir können also die für blaues Licht viel gröfsere exzentrische Steigerung der Empfindlichkeit hiernach sehr wohl verstehen. Etwas anders mufs sich die Sache dagegen wieder gestalten, wenn man das Verhalten weiter exzentrisch gelegner Partieen in Betracht zieht, in welchen die Leistungsfähigkeit der Stäbchen eine so hohe ist, dafs bei der Ermittlung der Schwellenwerte die der Zapfen gar nicht mehr dagegen in Betracht kommt. Hier wird natürlich für die Leistungsfähigkeit des Stäbchenapparates an zwei verschiedenen Stellen sich dasselbe Verhältnis ergeben müssen, mögen wir es mit gelbem oder mit blauem Licht prüfen, da ja durchgängig ein bestimmtes Quantum gelben Lichtes einem bestimmten Quantum blauen Lichtes stäbchenäquivalent ist. Hiernach hätten wir denn eine Gestaltung der Empfindlich-

keitskurven zu erwarten, wie sie Fig. 3 und 4 zeigen. In Fig. 3, welche sich den zahlenmäfsigen Darstellungen der Versuche

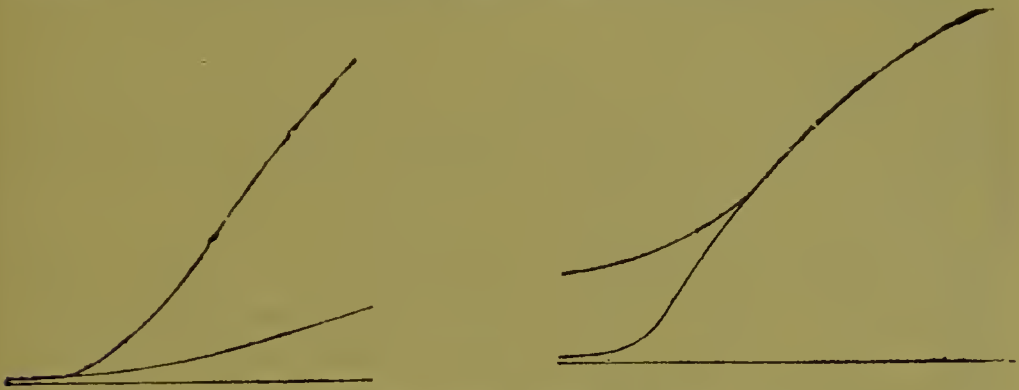


Fig. 3 und 4. Schematische Darstellung der Empfindlichkeit für gelbes und blaues Licht in stäbchenfreien und stäbchenhaltigen Netzhautteilen.

darin anschliefst, dafs für beide Lichter die zentrale Empfindlichkeit als Einheit genommen ist, wäre zu beachten, dafs die Endstücke beider Kurven ein proportionales Ansteigen zeigen. Deutlicher tritt dies in Fig. 4 hervor, wo bei Wahl eines andern Mafsstabes die Kurven mit ihrem peripheren Teile zusammenfallen, dann aber bei Annäherung gegen das Zentrum die Empfindlichkeit für Blau viel stärker als für Gelb heruntergeht, um aber für beide in der nächsten Umgebung des Zentrums etwa konstant zu bleiben. Im grofsen und ganzen, wie schon gesagt, entsprechen die Erscheinungen dieser theoretischen Erwartung. Die Steigerung der Empfindlichkeit ist im ganzen für das benutzte blaue Licht etwa 30fach stärker als für gelbes; die Ungleichheit der Zunahme sehen wir sich verteilen auf das Spatium von 1 oder 1,5 ^{0} bis zu einer Stelle die etwa zwischen 2,5 und 5 ^{0} gelegen sein mag. Dagegen steigt von 5 ^{0} auf 10 ^{0} (im temporalen wie im nasalen Gesichtsfelde) die Empfindlichkeit für beide Lichtarten wieder ziemlich gleich, etwa auf das doppelte oder ein wenig mehr. Wenn aber auch darüber wohl kein Zweifel bestehen kann, dafs der allgemeine Charakter der hier vorgefundenen Thatsachen in guter Übereinstimmung mit der Stäbchentheorie ist, so müssen wir anderseits doch betonen, dafs es aus vielerlei Gründen unmöglich ist, die Erscheinungen bis ins Detail aus dieser Theorie zu deduzieren.

Dies gilt zunächst schon von der, wie wir sahen, etwa bis zu einem Fovealabstande von 10—15 ^{0} zu verfolgenden Steigerung der

Empfindlichkeit. Man könnte vielleicht glauben, daſs diese ihr anatomisches Substrat ganz einfach in der bis dahin zunehmenden Zahl der Stäbchen pro Querschnittseinheit finden müsse. Die anatomischen Untersuchungen haben uns in dieser Beziehung bis jetzt keine ganz abgeschlossenen und endgiltigen Ergebnisse geliefert. Auf eine genauere Erörterung der hierher gehörigen Ermittlungen kann aber um so eher verzichtet werden als die Erwartung irgend eines genauen Parallelismus doch keineswegs ohne weiteres als berechtigt gelten kann. Man muſs vielmehr bedenken daſs erstlich schon die Reichlichkeit des Sehpurpurgehalts wohl noch von mancherlei andern Momenten als der bloſsen Zahl der Stäbchen abhängen wird. Ferner läſst sich auch erwarten, daſs auf die hier untersuchten Schwellenwerte auch die Leitungsverhältnisse von einem gewissen Einflusse sein mögen. Wir haben nach Cajal anzunehmen, daſs zur Erregung einer Optikusfaser eine ganze Anzahl von Sehzellen zusammen wirken; es läſst sich wohl vermuten, daſs eine derartige Einrichtung der Steigerung der absoluten Empfindlichkeit zu gute kommt und daſs die Schwellenwerte um so niedriger werden je mehr (unter entsprechender Einbuſse an räumlicher Unterscheidungsfähigkeit) eine derartige Konzentrierung oder Sammlung des Effekts statthat. Aus diesen und andern Gründen hat eine theoretische Erörterung darüber, weshalb die Schwellenwerte bis etwa 12° stark ansteigen, darüber hinaus aber nicht mehr, z. Z. kaum eine genügend feste Basis.

Das gleiche gilt auch für die speziellere Gestaltung der Dinge innerhalb des ganz stäbchenfreien Gebietes, welches auf ca. 2° Horizontaldurchmesser veranschlagt werden kann. Man könnte am ehesten vermuten, daſs hier, wo es sich nur um die Empfindlichkeit des Zapfenapparats handeln kann, die Dinge sich für alle Lichtarten gleich verhalten würden oder doch nur insofern verschieden, als dafür rein physikalische Ursachen in der Abnahme des makularen Pigments ins Spiel kommen. In der That hatte ich zunächst erwartet, daſs, wie die Beobachtungen mit rotem Licht zentral eine höchste, und mit Entfernung vom Fixierpunkt sogleich abnehmende Empfindlichkeit herausstellten, ähnlich auch für gelbes Licht wenigstens bis 1° Abstand die Empfindlichkeit nicht ansteigen würde, während für Blau ein geringes Zunehmen allerdings aus den Verhältnissen des makularen Pigments erklärt werden konnte. Die Beobachtungen haben

aber diese Erwartung nicht bestätigt, vielmehr herausgestellt, dafs wenn auch die sehr starken Zunahmen der Empfindlichkeit bei Zentralabständen von über 1 ° auftreten, doch eine ganz geringe Zunahme schon bei weniger als 1 ° konstatiert werden kann, und zwar bei gelbem sowohl wie bei blauem Licht, nicht dagegen bei rotem. Die oben angeführte Tabelle läfst dies erkennen; ähnlich hatte auch Dr. Breuer bei Benutzung von gelben Objekten und relativ hohen Lichtstärken Verschwindungsbezirke von etwa 1 ° Gröfse gefunden. Da dies Ergebnis einigermafsen auffallend war, so habe ich mich bemüht, seine Richtigkeit möglichst sicher zu prüfen. Denkbar konnte zunächst erscheinen, dafs das Zentrum der Fovea durch das Fixierzeichen selbst etwas ermüdet würde und demgemäfs in seiner nahen Nachbarschaft eine etwas höhere Empfindlichkeit sich herausstellte. Da das Fixierzeichen von gelblicher Farbe war, so wäre dadurch die intrafoveale Empfindlichkeitszunahme für gelbes Licht allenfalls zu erklären gewesen. Um zu prüfen, ob sich die Sache wirklich so verhalte, veranlafste ich Herrn Dr. Pertz die Beobachtungen mit der Modifikation zu wiederholen, dafs das Fixierzeichen durch Vorsetzung eines Kupferoxydulglases rot gefärbt wurde. Es war zu prüfen ob nunmehr etwa

Tabelle VIII.

Temporales Gesichtsfeld Feldgröfse				Nasales Gesichtsfeld			
Abstand	Empfindlichkeit für				Empfindlichkeit für		
	Blau	Gelb	Rot		Blau	Gelb	Rot
0 °	1	1	1	0 °	1	1	1
0,25 °	1,25	1,12	0,96	0,25 °	1,11	1,30	0,92
0,5 °	1,86	1,21	0,94	0,5 °	1,82	1,48	0,88
0,75 °	2,82	1,77	0,77	0,75 °	2,96	1,82	0,83
1 °	5,61	2,90	0,77	1,0 °	6,99	2,55	0,80
1,5 °	19,33	3,69	0,75	1,5 °	30,4	3,76	0,77
2,5 °	73,36	6,73	0,68	2,5 °	104,9	9,11	0,72
5 °	305,4	16,6	0,65	5 °	767,2	40,4	0,58
10 °	720,8	26,6	0,56	10 °	1309	63,14	0,52

eine intrafoveale Zunahme der Empfindlichkeit für rotes Licht bemerkbar wurde, die für gelbes aber aufhörte. Die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten Versuchsergebnisse lassen erkennen, dafs dies nicht eintritt. Die Resultate sind vielmehr, so genau als dies nach Mafsgabe der Sicherheit der Methode nur irgend erwartet werden kann, die gleichen wie bei Anwendung des gelblichen Fixierzeichens. Warum also jene, wenn zwar nur geringe doch deutliche Zunahme der Empfindlichkeit vom Zentrum gegen die Peripherie der Fovea bei gelbem Licht beobachtet, bei rotem vermifst wird, dafür kann z. Z. wohl keine ganz bestimmte Erklärung gegeben werden. Man hat aber auch, glaube ich, keinen Anlafs, diese Thatsache besonders überraschend oder rätselhaft zu finden, wenn man sich der verwickelten Bedingungen erinnert, unter denen doch stets die „Schwellenwerte" stehen. Wenn es sich in allen Fällen darum handelt, den physiologischen Zustand einer (der gereizten) Netzhautstelle als von dem der (ungereizten) Umgebung verschieden zu erkennen, so kommen dabei nicht blofs die eigentlichen, vielleicht für die Sehzellen selbst schon geltenden Reizschwellen in Betracht, sondern daneben die physiologischen Dauerzustände (der Wert des Eigenlichts, wie man geradezu sagen könnte) endlich gewifs auch noch cerebrale Bedingungen bezüglich der Unterscheidung. Grade in der letzteren Beziehung können wohl so mancherlei Differenzen bestehen, die mit der Bildung des peripheren Sinnesapparates, insbesondere der Sehzellen selbst ganz aufser Beziehung stehen. Thatsächlich sind auch die Unterschiede, um deren Wahrnehmung es sich bei der Bestimmung der Schwellenwerte handelt, von sehr verschiedener Art, indem z. B., wie ja bekannt, beim Rot sogleich und vorzugsweise die Farbe bemerkt wird, das Gelb (selbst foveal) zunächst als Helligkeit ohne bestimmt angebbare Farbe erscheint. Man darf nach alledem wohl sagen, dafs von dem gegenwärtigen Stande unsrer theoretischen Vorstellungen eine sichere Erklärung der geringen intrafovealen Änderungen der Empfindlichkeit nicht verlangt werden kann.

Zu einem einigermafsen ähnlichen Resultat führt uns die Erörterung des letzten hier zu berührenden Punktes, der Frage nämlich, ob aus den Empfindlichkeitsverhältnissen etwa die Gröfse des stäbchenfreien Bezirks festgestellt werden kann. Gelänge dies, so könnte die Vergleichung mit den nach anderen

Methoden erzielten Ermittlungen und insbesondre mit den Ergebnissen der anatomischen Untersuchung von grofsem Interesse sein. Man sieht indessen, dafs dies, wie ich es schon früher als wahrscheinlich bezeichnet habe, mit Hilfe der Schwellenwerte nicht gelingt. Wäre für gelbes Licht die Empfindlichkeit in irgend einem kleinen Bezirk wirklich konstant, so könnte man freilich daran denken, die erste Steigerung der Empfindlichkeit, die bei zunehmendem Abstand vom Zentrum gefunden wird, als Index für das erste Auftreten der Stäbchen zu betrachten. Da das aber nicht der Fall ist, so müssen wir uns darauf beschränken, darauf hinzuweisen, dafs der sehr starke Anstieg der Empfindlichkeit ungefähr in der Strecke gefunden wird (2—10° Fovealabstand) in der wir die Netzhaut aus einer stäbchenarmen in eine stäbchenreiche Formation übergehen sehen, ohne in dieser Hinsicht noch speziellere Interpretationen zu versuchen. Um so beachtenswerter scheint es mir unter diesen Umständen, dafs auf andre Weise die Beobachtungen des Herrn P. doch wieder eine Gröfsenbestimmung des stäbchenfreien Bezirkes gestatteten. Auch bei dem hier eingehaltenen Verfahren zeigte sich nämlich, dafs das blaue Licht innerhalb eines gewissen Bezirks, auch wenn sich seine Intensität an der Grenze der Sichtbarkeit befand, tiefblau erschien. Bei dem zuletzt eingehaltenen Gange der Versuche wurde ohne weiteres zugleich derjenige Zentralabstand bemerkbar, bei welchem diese Erscheinungsweise aufhörte und statt dessen die eben sichtbaren blauen Lichter farblos grau erschienen. Diese Grenze fand sich beiderseits bei etwa 1° Zentralabstand. Spezieller war das Beobachtungsergebnis das, dafs wenn das Objekt auf 0,75° eingestellt wurde, es sicher blau, wenn es auf 1,5° eingestellt wurde, sicher grau erschien; bei 1° war die Erscheinungsweise sozusagen überaus labil, so dafs bei der geringsten, trotz einer allmählich sehr grofsen Übung nicht zu vermeidenden Blickschwankungen, das Aussehen merklich wechselte. Wir würden danach den horizontalen Durchmesser des stäbchenfreien Bezirks wiederum auf rund 2° veranschlagen können.

Bekanntlich ist der von König und mir gemachten Angabe, dafs blaues Licht in der Fovea auch bei geringster Intensität sogleich eine Farbenempfindung hervorbringt, von Koster und, unter Hinweis auf ältere Versuche, von Fick widersprochen worden. Die Pertz'schen Beobachtungen lehrten, dafs hier ihm

die Thatsachen durchaus mit den Angaben von König und mir übereinstimmen, und dafs sogar die Grenze des Bezirks, für den dies gilt, mit ziemlicher Sicherheit ermittelt werden kann. Es gereicht mir zu besonderer Freude, mitteilen zu dürfen, dafs bei neuerer Wiederholung ähnlicher Versuche auch Dr. Fick zu dem gleichen Ergebnis gelangt ist.

Herr Dr. Fick verfuhr so, dafs er die Lichtstärke eines kleinen, unter 17′ Gesichtswinkel erscheinenden und annähernd reines blaues Licht ausstrahlenden Objektes allmählich steigerte; und zwar wurde ausgegangen von solchen geringen Helligkeitswerten, dafs das Verschwinden des Objekts bei fovealer Fixation leicht beobachtet werden konnte. Die Vermehrung der Helligkeit geschah durch die Vergröfserung eines lichtliefernden Diaphragmas (Fensters). Über das Ergebnis schrieb mir Herr Dr. Fick (ich teile den betr. Passus aus seinem Brief mit seiner freundlichst erteilten Erlaubnis wörtlich mit):

„Wird die Fensteröffnung gröfser und gröfser (das blaue Objekt also lichtstärker; Kr.) so tritt der kritische Augenblick ein: das Scheibchen verschwindet bei fovealer Fixierung nicht mehr, sondern verwandelt sich in einen tief dunkelblauen Fleck von unbestimmter Form. Während ich ihn festzuhalten suche, schwimmt er langsam gleitend aus dem Fixierpunkt heraus und wird dadurch sofort leuchtend hellblau und scharf begrenzt. Bei absichtlich stark exzentrischer Betrachtung wird der Fleck leuchtend weifs mit Stich ins Gelbe, offenbar infolge cerebralen Kontrastes.

Ich sehe die Erscheinung also genau so, wie Sie sie beschrieben haben, und ich mufs leider wohl annehmen, dafs meine gegenteilige Behauptung aus dem Jahre 1888 ein Irrtum ist, der durch nicht wirklich genau foveale Fixation verschuldet wurde."

Man wird die im obigen mitgeteilten Thatsachen auf den ersten Blick schwer vereinbar finden mit den Beobachtungen Wilbrand's über die „Erholungsausdehnung" des Gesichtsfeldes. Nach W. besteht für das ermüdete oder „unterwertige" Auge die höchste Empfindlichkeit im Zentrum: man erhält also bei der perimetrischen Aufnahme sehr enge Gesichtsfeldgrenzen und eine mit zunehmender Erholung (Dunkeladaptation) fortschreitende Erweiterung des Gesichtsfeldes. Indessen ist zu beachten, dafs die obigen Versuche das Auge im maximal oder doch nahezu maximal adaptierten Zustande betreffen. Beobachte ich

weifse lichtschwache Objekte auf absolut schwarzem Hintergrund mit einem möglichst helladaptiertem Auge, so finde ich auch, dafs ein zentral noch schwach sichtbares Objekt in mäfsigen Exzentrizitäten unsichtbar wird. Wenn im Verlaufe der Adaptation eine vom Zentrum gegen die Peripherie abnehmende Empfindlichkeitsverteilung in eine entgegengesetzte übergeht, so erscheint danach die Wilbrand'sche Beobachtung einer Gesichtsfeldausdehnung ganz begreiflich. Der Gang der Dinge hängt dabei eben von einem für sich noch nicht in Betracht gezogenen Punkt ab, nämlich der Schnelligkeit des Adaptationsverlaufs an den verschiedenen Netzhautstellen.

Wichtiger aber als dieser Umstand ist die andere Thatsache, welche sich aus der Kombination beider Beobachtungsreihen entnehmen läfst, dafs nämlich der Übergang von Hell- zur Dunkeladaptation die zentrale Empfindlichkeit viel weniger als die periphere steigert. Dies ist in der That in dem Mafs der Fall, dafs sich foveal eine Steigerung der Empfindlichkeit durch Dunkeladaptation überhaupt nicht mit Sicherheit konstatieren läfst. Selbstverständlich zwar kann es vorkommen, dafs intensive Nachbilder von zentraler Lage Einem in den ersten Sekunden nach Betreten des Dunkelzimmers lichtschwache Objekte unsichtbar machen. Wenn man indessen solche vermeidet, so hat man sofort, andernfalls nach wenigen Minuten foveal die geringsten überhaupt zu erhaltenden Schwellenwerte, und von einer so allmählich fortschreitenden Empfindlichkeitssteigerung wie die exzentrischen Teile sie zeigen, ist hier nicht das geringste zu bemerken. Dies ist bereits von Parinaud angegeben worden; die Beobachtungen der Herren Br. und P. stimmen damit durchaus überein: im Verlauf längerer Dunkeladaptation geht die foveale Empfindlichkeit stets ein wenig herunter.

Es wäre natürlich erwünscht, für die hier in Betracht kommenden Schwellenwerte Bestimmungen in feststehenden und allgemein bekannten Mafsen geben zu können, schon um die Kontrolle der gemachten Angaben bei Nachuntersuchungen zu erleichtern. Dies stöfst auf keine Schwierigkeit, solange wir uns an gemischtes Licht halten von annähernd derselben Beschaffenheit wie dasjenige für welches wir eine fixierte Einheit in dem sog. Hefner-Licht besitzen. Beobachtungen in dieser Richtung sind von Herrn P. gemacht und finden sich in seiner Disser-

tation.[1] Es mag genügen hier daraus anzuführen, dafs der foveale Schwellenwert für ihn gegeben war durch die Helligkeit einer Magnesium-Oxydfläche, welche von einem Hefnerlicht aus einer Entfernung von 5,51 m beleuchtet wurde, der geringste periphere bei Beleuchtung aus 46,85 m.

Da es für Nachuntersuchungen übrigens weniger auf sehr genaue Angaben ankommt, als auf solche, die einem jeden leicht eine annähernde Herstellung der in Frage kommenden Beleuchtungswerte gestatten, so füge ich hinzu, dafs im hiesigen Institut mit Nutzen kleine Gasflammen verwendet werden, bei denen das Gas aus runden Öffnungen von bestimmtem Durchmesser ausströmt und der Flamme eine bestimmte Höhe gegeben wird. Bei einer Öffnung von 1 mm Durchmesser und bei 2 cm Flammenhöhe haben wir bei der Beschaffenheit des hiesigen Leuchtgases eine Lichtstärke, die, nur wenig wechselnd, sich um etwa 0,025 Hefner-Einheiten bewegt. Ein Scheibchen aus gewöhnlichem weifsem Papier, von einer solchen Flamme aus ca. 80—90 cm Abstand beleuchtet, wird sich bei einer Gröfse von $^1/_3$—$^1/_4$ ^{0} etwa an der Grenze fovealer Sichtbarkeit befinden. Das Übergewicht der peripheren Empfindlichkeit über die zentrale für solches stark gelbliches Licht ist bedeutender als für das oben erwähnte annähernd homogene gelb, aber noch viel geringer als für rein weifses oder gar blaues. Eine absolute Bestimmung der Schwellenwerte für farbige Lichter gelingt leider vorläufig nicht, da wir noch keine fixierten Mafseinheiten für farbige, insbesondere für annähernd homogene Lichter besitzen. Schliefslich mufs noch bemerkt werden, dafs die obigen Angaben sich auf Objekte ganz bestimmter Gröfse bezogen. Vermutlich werden zentrale und periphere Schwellenwerte in wesentlich verschiedener Weise von der Ausdehnung des Objekts abhängen; und alsdann mufs auch bei Benutzung anderer Objektgröfsen der Schwellenwert sich als eine andere Funktion des Zentralabstandes darstellen, als sie hier gefunden wurde. Eine Kenntnis dieser spezielleren Verhältnisse wird erst durch weitere Untersuchungen gewonnen werden können.

---

[1] A. Pertz, Photometrische Untersuchungen über die Schwellenwerte der Lichtreize. Dissert. Freiburg 1896.

Ueber die anomalen trichromatischen Farbensysteme.

Von

J. von Kries.

In meiner Arbeit über Farbensysteme[1] konnte wahrscheinlich gemacht werden, daſs die sogenannten anomalen Trichromaten sich von den normalen nicht durch eine stärkere Pigmentirung der Macula, sondern in der Beschaffenheit der optischen Substanzen selbst unterscheiden. Diese Anschauung konnte hauptsächlich darauf gestützt werden, daſs bei der Herstellung von Gleichungen zwischen homogenem Gelb und Mischungen aus Roth und Grün der anomale die Mischungen weit grüner einstellt und gegenüber den innerhalb eines mäſsigen Spielraums schwankenden Werthen der normalen Trichromaten „aus der Reihe fällt". Es lieſs sich annehmen, daſs jene kleineren Schwankungen physikalisch, durch Absorption der Augenmedien, zu erklären wären, die vereinzelten sehr groſsen Abweichungen aber auf etwas anderem beruhten. Eine genauere Prüfung dieser Annahme war durch systematische Untersuchung von anomalen Trichromaten (welche ich damals auszuführen noch nicht Gelegenheit gehabt hatte) ganz wohl möglich. Sie konnte zunächst von der folgenden Ueberlegung ausgehen. Würde im Auge des normalen Trichromaten das Grün durch Absorption auf $\frac{1}{x}$ seines Werthes geschwächt, so würde, sofern sonst keine Differenzen

[1] *Diese Zeitschr.* XIII, S. 287.

vorliegen, der anomale in jeder Gleichung dem Grün den x-fachen Betrag von demjenigen geben müssen, den der normale erfordert. Mit anderen Worten: das Mengenverhältnifs von Grün zu Roth $\left(\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}\right)$, welches der anomale braucht, um mit einem bestimmten homogenen Licht Gleichheit zu erzielen, müfste das x-fache sein von demjenigen, das der normale einstellt. Diese Aenderung müfste (und darin liegt der Angriff für die experimentelle Prüfung) für alle homogenen Lichter, mit denen man Gleichungen herstellt, dieselbe sein. Bestimmt man also für eine Reihe homogener Lichter die Quotienten der für den einen und für den anderen Beobachter sich herausstellenden Werthe $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$, so wird, wenn diese constant bleiben, eine physikalische Ursache der Differenz zu vermuthen sein, wenn sie sich aber in erkennbarer Weise ändern, die physikalische Ursache ausgeschlossen und das Vorhandensein einer andersartigen nachgewiesen sein.

Beobachtungen dieser Art sind im Laufe der letzten Jahre mehrfach in der Form von Parallelversuchen ausgeführt worden. Verwendet wurde der Helmholtz'sche Farbenmischapparat und es wurde mit kleinem Feld (ca. 1,5°) und bei helladaptirtem Auge gearbeitet. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen enthalten, zu denen nur noch zu bemerken ist, dafs jede Zahl das Mittel aus 5 Einstellungen giebt.

Tabelle I enthält eine Versuchsreihe, die von mir selbst und Herrn cand. med. Lotze ausgeführt wurde, nachdem dieser durch eine Reihe von Vorversuchen auf derartige Einstellungen hinlänglich eingeübt war.

Tabelle II enthält 2 Versuchsreihen desselben Herrn Lotze in Gemeinschaft mit einem anderen normalen Trichromaten (cand. med. Halben).

Tabelle III endlich enthält in den 4 oberen Abtheilungen 4 Versuchsreihen, die von Dr. Polimanti (normaler Trichromat) und Prof. Zehnder angestellt wurden. In der untersten Abtheilung der Tabellen II und III ist unter der Rubrik Quotienten noch der Mittelwerth der in jenen 2 resp. 4 Reihen gefundenen Quotienten aufgeführt worden.

Tabelle I.

Beobachter v. Kries und Lotze.

Homogenes Licht	Verhältniſs $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ für v. Kries	Verhältniſs $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ für Lotze	Quotient
628 μμ	0,062	0,280	4,51
615 „	0,136	0,520	3,74
603 „	0,257	0,810	3,15
591 „	0,455	1,43	3,14
581 „	0,791	2,12	2,68
571 „	1,266	3,15	2,48
561 „	2,02	4,43	2,15
552 „	3,85	8,15	2,12

Tabelle II.

Beobachter Halben und Lotze.

Homogenes Licht	Verhältniſs $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ für Halben	Verhältniſs $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ für Lotze	Quotient	
628 μμ	0,039	0,16	4,2	1. Reihe.
603 „	0,16	0,59	3,7	
581 „	0,55	1,74	3,2	
561 „	1,44	4,04	2,9	
628 μμ	0,04	0,19	4,5	2. Reihe.
603 „	0,20	0,67	3,4	
581 „	0,63	1,77	2,8	
561 „	1,74	3,94	2,3	
628 μμ			4,35	Mittelwerthe.
603 „			3,6	
581 „			3,0	
561 „			2,6	

Tabelle III.

Beobachter Dr. POLIMANTI und Prof. ZEHENDER.

Homogenes Licht	Verhältnifs $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ für POLIMANTI	ZEHENDER	Quotient	
628 $\mu\mu$	0,062	0,33	5,41	1. Reihe.
603 „	0,25	1,04	4,20	
581 „	0,81	3,41	4,21	
561 „	2,32	7,97	3,44	
552 „	4,06	9,25	2,27	
628 $\mu\mu$	0,067	0,30	4,49	2. Reihe.
603 „	0,22	0,96	4,24	
581 „	0,76	3,04	4,00	
561 „	2,18	5,94	2,72	
552 „	4,16	6,57	1,57	
628 $\mu\mu$	0,064	0,28	4,41	3. Reihe.
603 „	0,22	0,99	4,36	
581 „	0,66	2,68	3,83	
561 „	2,00	6,00	2,98	
552 „	2,97	8,24	2,80	
628 $\mu\mu$	0,042	0,21	4,97	4. Reihe.
603 „	0,20	0,81	3,90	
581 „	0,73	2,68	3,67	
561 „	2,86	8,00	2,80	
552 „ (?)	7,80	13,5	1,73	
628 $\mu\mu$			4,82	Mittelwerthe.
603 „			4,17	
581 „			3,92	
561 „			2,98	
552 „			2,09	

Betrachtet man die obigen Zahlen, so sieht man sehr deutlich, dafs die Quotienten, die die Vermehrung des Grün-Rothverhältnisses für die anomalen Trichromaten darstellen, mit der

abnehmenden Wellenlänge des homogenen Vergleichslichts ganz regelmäfsig kleiner werden. Hiernach scheint mir denn die Annahme, dafs die Eigenthümlichkeit der betr. Beobachter in einer Pigmentirung begründet sei, definitiv ausgeschlossen zu sein. Bemerkt sei noch, dafs der Unterschied der Herren Z. und L. untereinander so gering ist, dafs sie jedenfalls beide einer wiederum einheitlichen Gruppe zugerechnet werden dürfen, deren Repräsentanten voraussichtlich unter einander mäfsige Unterschiede in ähnlicher Weise darbieten werden, wie das die überwiegende Gruppe, die normalen Trichromaten thun.

Herr Lotze hat noch einige weitere Beobachtungen angestellt, aus denen Folgendes mitgetheilt sei.[1] Parallelbeobachtungen an der brechbareren Hälfte des Spectrums, bei denen eine Mischung aus Grün (517 $\mu\mu$) und Blau (460 $\mu\mu$) einem homogenen Licht von dazwischen gelegener Wellenlänge gleich zu machen war, ergaben, dafs hier die Unterschiede des normalen und anomalen Trichromaten durchweg nur gering sind; doch schien auch hier eine Abhängigkeit von der Wellenlänge des Vergleichslichts bemerkbar zu sein.[2]

Es wurden ferner in der von Breuer[3] beschriebenen Weise die Unterschiede centraler und paracentraler Gleichungen untersucht. Verglichen wurde die Einstellung für ein kleines direct zu betrachtendes Feld von 1^0 Durchmesser mit der für ein gröfseres (3^0 Durchmesser) dessen Erstreckung von 3 bis 6^0 Centralabstand ging. Es ergab sich hierbei, dafs ganz wie beim normalen Trichromaten central etwas mehr Grün eingestellt wurde als paracentral. Die Differenzen waren aber sehr gering und liefsen eher auf eine relativ schwache als auf eine abnorm starke Macula-Tingirung schliefsen; das Verhältnifs $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ betrug central nur etwa das 1,1fache des paracentralen.

Bliebe nun hier allenfalls noch die Möglichkeit bestehen, dafs es sich um Tingirungen von grofser Ausdehnung handelte

---

[1] Genaueres wird in der Dissertation des Herrn Lotze (Freib. 1898) mitgetheilt.

[2] Ich lege auf diese Versuche weniger Werth, theils weil die Differenzen überhaupt geringe sind, theils, weil die Gleichungen dieser Art stets kleine Sättigungsdifferenzen bestehen lassen und somit weniger zuverlässig sind wie die an der weniger brechbaren Spectralhälfte.

[3] Breuer, Ueber den Einflufs des Maculapigments auf Farbengleichungen *Diese Zeitschr.* XIII, S. 464.

oder vielleicht um Absorptionen, die nicht in der Macula, sondern in der Linse oder in dem Glaskörper stattfänden, so liefs sich auch diese Möglichkeit ausschliefsen und zwar durch Parallelbeobachtungen der Dämmerungswerthe spectraler Lichter, die von dem anomalen und einem normalen Trichromaten angestellt wurden. Als Vergleichslicht diente dauernd ein Blau von 460 $\mu\mu$. Wäre im anomalen Auge ein das Blau stark absorbirendes Medium vorgelagert, so müfste dieses, um Dämmerungsgleichheit mit langwelligeren Lichtern zu erhalten, constant gröfsere Mengen des Blau verlangen. Es ergab sich aber in diesen Versuchen, dafs die Einstellungen durchgängig sehr nahezu übereinstimmten.

War das andere Licht ein grünes, so war die Uebereinstimmung in den Fehlergrenzen eine vollständige, wurde es längerwellig gewählt (es konnte bis zu 589 $\mu\mu$ gegangen werden), so verlangte der anomale durchschnittlich etwas w e n i g e r Blau als der normale Mitbeobachter (cand. med. Halben).

Zum Beleg diene die nachfolgende kleine Tabelle:

	Wellenlänge in $\mu\mu$:							
	591	581	571	561	552	544	536	529
Verhältnifs d. dem obigen Lichte für Halben und für Lotze dämmerungsgleich. Mengen blauen Lichts $\frac{H.}{L.}$	1,03	1,49	1,31	1,10	1,24 (0,99)	1,18	0,90	1,09

Man wird auch aus diesen Zahlen folgern dürfen, dafs der anomale Trichromat sich nicht durch eine ungewöhnlich starke und zugleich ausgedehnte Pigmentirung von dem normalen unterscheidet.

Bekanntlich ist mehrfach angegeben worden, dafs die anomalen Trichromaten auch insofern eine Abnormität darbieten, als sie einen „schwachen Farbensinn" haben. In den beiden Fällen, von denen hier berichtet worden ist, traf dies nicht zu. Es wurden, um dies zu prüfen, bei den oben erwähnten Nicol-Einstellungen sowohl für den normalen, wie für den anomalen Trichromaten die mittleren Abweichungen berechnet; dabei zeigte sich, dafs die beiden Anomalen mit sehr nahe derselben Präcision einstellten wie die Normalen. Natürlich kann auf Grund dieses

Ergebnisses nicht ausgeschlossen werden, dafs sich doch die Anomalie des trichromatischen Systems vorzugsweise häufig mit schwachem Farbensinn verknüpfe. Doch sei erwähnt, dafs die Beurtheilung in dieser Hinsicht einige Vorsicht erfordert. Auch in unsern Beobachtungen war einmal der Verdacht gegeben, dafs die Herren L. und Z. für „farbenschwach" zu erklären seien, da sie eine dem Normalen leicht lesbare Stilling'sche Tafel nicht zu entziffern vermochten. In der That erschien ihnen die Farbe der Zahlzeichen und des Grundes gleich, die uns deutlich verschieden war. Es ist aber zu bedenken, dafs dies kein sicheres Zeichen von Farbenschwäche ist. Am Spectralapparat können wir auch Felder herstellen, die dem Anomalen verschieden und uns gleich sind. Wäre zufällig in einer Tafel eine Combination solcher Art getroffen, so könnten die Anomalen uns für farbenschwach zu erklären geneigt sein. Eine derartige einzelne Thatsache ist also nicht maafsgebend; man wird die Unterschiedsempfindlichkeiten direct oder auf Grund der mittleren Fehler vergleichen müssen. Eine solche Vergleichung stellte, wie gesagt, in unsern Fällen einen schwachen Farbensinn nicht heraus.

Kritische Bemerkungen zur Farbentheorie.

Von

J. von Kries.

Im Laufe des letzten Jahres ist die Stäbchentheorie auch von Seiten Hering's und seiner Schüler in einigen Arbeiten discutirt worden.[1] Ich möchte es nicht länger hinausschieben auf diese Erörterungen mit einigen Bemerkungen einzugehen, schon weil einige Mifsverständnisse der sich vielleicht anbahnenden Klärung entgegenzustehen scheinen. Im Uebrigen beschränke ich meine Erwiderungen auf das Nothwendigste und unterlasse die Erörterung so mancher relativ unerheblicher Punkte, in denen gegen mich gerichtete Einwendungen mir unbegründet erscheinen.

Was zunächst die angeborene totale Farbenblindheit anlangt, so habe ich im Sinne der erwähnten Theorie die mit dieser Anomalie behafteten Personen als „Stäbchenseher" aufgefafst. Es giebt aber weder von meiner Meinung noch von dem, was ich geschrieben habe, eine zutreffende Vorstellung, wenn Hering und Hess (a. a. O. S. 108) ohne jede Einschränkung oder Erläuterung mir die Annahme zuschreiben, dafs die Zapfen mangeln, „während die räumliche Vertheilung der Stäbchen mit der Norm übereinstimmt".

[1] Hering und Hess, Untersuchungen an total Farbenblinden. Pflüger's *Archiv* LXXI, S. 105.

Hess, Experimentelle Untersuchungen über die Nachbilder bewegter leuchtender Punkte. *Archiv f. Ophthalmologie* XLIV, S. 445.

Tschermak, Ueber die Bedeutung der Lichtstärke und des Zustandes des Sehorgans für farblose optische Gleichungen. Pflüger's *Archiv* LXX, S. 297.

Auf dem Boden der Stäbchenhypothese überhaupt und der Annahme, dafs die total Farbenblinden Stäbchenseher seien, habe ich jenes Verhalten vielmehr als *eine* der Möglichkeiten für die speciellere Durchführung dieser Ansicht angesehen. Die von Hering und Hess citirte Stelle lautet vollständig:

„Zunächst scheint daher die Annahme nicht ausgeschlossen, dafs in den erwähnten Fällen von totaler Farbenblindheit *lediglich* Mangel oder Functionsunfähigkeit des Zapfenapparats vorliegt, während die sonstigen Verhältnisse, insbesondere die räumliche Vertheilung der Stäbchen mit der Norm übereinstimmen. Selbstverständlich aber wird erst eine genauere Untersuchung der Monochromaten hierüber bestimmteren Aufschlufs geben können.“ [1]

Auf eine detaillirte Erörterung noch anderer Möglichkeiten einzugehen hatte ich, in Ermangelung entscheidender Beobachtungen von der zuletzt angeführten Art kaum Veranlassung, umsoweniger, als sachlich wohl Folgendes ziemlich selbstverständlich ist. Eine Uebereinstimmung des den total Farbenblinden eigenen Sehapparats mit dem Dunkelapparat des Normalen, und zwar eine ganz vollständige, auch hinsichtlich der localen Anordnung, Sehschärfe etc., wäre dann zu erwarten, wenn die „angeborene“ totale Farbenblindheit auf einer Functionsunfähigkeit des von Haus aus angelegten Zapfenapparats, etwa durch eine Bildungshemmung, eine intrauterine Erkrankung o. dgl. beruhte. Wenn dagegen die ganze Affection eine Bildungs-Anomalie im eigentlichen Sinne darstellt, also aus unbekannten Gründen von vornherein nur Stäbchen (statt normaler Weise Zapfen und Stäbchen) gebildet werden, so ist jene Erwartung natürlich keineswegs eine selbstverständliche; es ist vielmehr ebenso gut möglich, dafs überall statt der Zapfen Stäbchen gebildet werden und dafs also u. A. ein der normalen Fovea entsprechender blinder Bezirk, ein Skotom, nicht existirt. Wie sich also die total Farbenblinden bez. der localen Verhältnisse der Sehschärfe, des Skotoms etc. verhalten würden, erschien mir stets als eine Frage, deren Beantwortung sowohl im einen wie im anderen Sinne mit der aus der Stäbchentheorie sich ergebenden Deutung der totalen Farbenblindheit durchaus vereinbar ist; und diese Ansicht ist in der von Hering und Hess partiell

---

[1] *Centralblatt für Physiologie* VIII, S. 696.

citirten Stelle auch bereits deutlich genug ausgesprochen. — Die inzwischen gemachten Erfahrungen machen auch mir wahrscheinlich, dafs in gewissen Fällen von angeborener totaler Farbenblindheit von den mehrerwähnten Möglichkeiten nicht die erste, sondern die zweite verwirklicht ist. Die Hauptfrage, auf die es dabei ankommt, die der Existenz eines centralen Skotoms, ist freilich von der Art, dafs es recht schwierig ist, sie in überzeugender Weise im verneinenden Sinne zu beantworten. Doch bin ich bez. der beiden Fälle, die ich untersuchen konnte, auch eher geneigt anzunehmen, dafs ein Skotom nicht vorhanden ist. In dem einen Fall (Marie Binder), über den ich in anderer Beziehung berichtet habe, war es mir wegen des leichten Nystagmus nicht möglich, zu einer ganz sicheren Ueberzeugung zu gelangen. Das junge Mädchen aus Grindelwald, welches Hering und Hess erwähnen, und an dem durch die Güte des Herrn Collegen Pflüger in Bern auch ich einige Beobachtungen anstellen konnte, zeigte (wie M. Binder) sehr gute Beobachtungsfähigkeit, und nur einen sehr geringen Nystagmus. Wenn ich auch mich nicht geradezu für das Fehlen des Skotoms verbürgen möchte, so kann ich doch jedenfalls sagen, dafs die Beobachtungen für die Annahme eines solchen keinerlei Anhalt gewährten. Für beide Fälle würde ich also eine abnorme Bildung des Sehorgans, der zu Folge auch die normaler Weise nur mit Zapfen ausgerüsteten Theile Stäbchen führen, anzunehmen geneigt sein. Ob dies für alle Fälle sich ebenso verhält, mufs übrigens im Hinblick auf die bestimmten Angaben König's zunächst dahingestellt bleiben.

Obgleich nach dem Gesagten auch die Vergleichung der excentrischen Sehschärfen nur mit Vorsicht theoretisch verwerthet werden kann, füge ich doch auch in dieser Beziehung einige Bemerkungen hinzu, weil die Darstellung von Hering und Hess mehrfach unzutreffend ist. Diese sagen (a. a. O. S. 122):

„Wenn wirklich die von v. Kries sogenannte „Stäbchensehschärfe“ von 10—60° Excentricität unverändert bleibt, wie dies Köster, wenigstens für den horizontalen Netzhautmeridian, angiebt und mit der Kries'schen Anschauung im Einklang findet, so müfste auf dem ganzen entsprechenden Gebiete die Gröfse und der gegenseitige Abstand, bei welchem die Scheibchen eben als zwei wahrgenommen werden, nahezu constant sein. Dies ist aber nicht der Fall.“

Niemand kann verstehen, weshalb hier die Stäbchentheorie

ausschliefslich durch einen Befund KÖSTER's repräsentirt wird, den dieser „mit der KRIES'schen Anschauung im Einklang findet". Ich selbst habe mit BUTTMANN gefunden, dafs die theoretisch als Stäbchensehschärfe zu bezeichnende Function vom blinden Flecken bis zur äufsersten Peripherie des temporalen Gesichtsfeldes nahezu ebenso absinkt wie die „Hellsehschärfe". Nichts Anderes besagt ja der Satz, dafs für alle diese Theile Hell- und Dunkelsehschärfe übereinstimmen.[1] Dafs also hier die Sehschärfe des total Farbenblinden „analog" wie beim Normalsehenden abnimmt, kann ich weder überraschend noch mit meinen Anschauungen unvereinbar finden. Ich mufs ferner bemerken, dafs H. und H. mir mit Unrecht einen Schlufs zuschreiben, der nur unter der „nicht eben wahrscheinlichen Voraussetzung zulässig wäre, dafs die Stäbchensehschärfe innerhalb enorm weiter Grenzen unabhängig ist von der Stärke der Beleuchtung". Ich habe vielmehr mit aller Vorsicht gesagt:

„Ohne also zur Zeit einen positiven Schlufs ziehen zu wollen, können wir es wohl als beachtenswerth bezeichnen, dafs die Stäbchensehschärfe der Normalsehenden und die Sehschärfe jener total Farbenblinden sich innerhalb ähnlicher (nicht einmal sehr weiter) Grenzen, etwa zwischen $^1/_4$ und $^1/_{10}$ bewegt."[2]

Im Uebrigen sage ich selbst, dafs die Beurtheilung dadurch verwickelt wird, dafs die excentrische Sehschärfe, wenn auch nur sehr langsam, doch merklich abnimmt, wenn man die Beleuchtung unter den für centrales Verschwinden erforderlichen Werth noch sehr verkleinert. (A. a. O. S. 696.)

Ich habe mir den Sachverhalt also nie anders vorgestellt als so, wie ihn neuerdings auch KÖNIG auseinanderlegt, dafs für den Dunkelapparat und den Hellapparat eine Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung existirt, die durch analoge Functionen nur mit ungemein verschiedenen Constanten dargestellt wird. Als selbstverständlich aber möchte ich nicht einmal das gelten lassen, dafs diese Abhängigkeiten für den einzelnen Apparat an allen Netzhauttheilen die gleichen sind. So darf man z. B. auch den Befund von BUTTMANN und mir, dafs von 4—12° die Dunkelsehschärfe

---

[1] v. KRIES, Ueber die Abhängigkeit centraler und peripherer Sehschärfe von der Lichtstärke. *Centralblatt für Physiologie* VIII, S. 695.

[2] *Centralbatt für Physiologie* VIII, S. 696.

annähernd constant bleibt, nicht vorschnell verallgemeinern. Bei sehr stark herabgesetzter Beleuchtung könnte ohne Zweifel ein Steigen der Sehschärfe mit zunehmender Excentricität demonstrirt werden, und bei stärkerer würde vielleicht auch die Stäbchensehschärfe sich umgekehrt verhalten. Man darf doch nicht vergessen, dafs wir beim Normalsehenden die Stäbchensehschärfe nicht in hohen Beleuchtungen untersuchen können. Die Annahme bez. der Function der Stäbchen so zu schematisiren, wie es H. und H. mir ohne Grund zuschreiben, als ob sie innerhalb enorm weiter Grenzen von der Beleuchtung gar nicht abhinge, liegt gar kein Anlafs vor.

Nach meiner theoretischen Auffassung habe ich es ferner stets für selbstverständlich gehalten, dafs das Verhältnifs der Hell- und der Dunkelsehschärfe an einer bestimmten excentrischen Netzhautstelle individuell einigermaafsen schwankend sein wird; es wäre mehr als merkwürdig, wenn es absolut fixirt wäre. Thatsächlich scheint Köster für die Dunkelsehschärfe etwas höhere, Bloom und Garten[1] etwas geringere Werthe als für die Hellsehschärfe an gleicher Stelle zu erhalten, während Buttmann und ich nur ganz geringe, die Fehler kaum übersteigende Differenzen constatirten; dafs aber die Aenderung der Sehschärfe bei sehr starker Lichtverminderung peripher sich völlig anders verhält als central, dafs die Peripherie mit ihren Leistungen für einen ganz anderen Spielraum der Beleuchtungen eingerichtet ist: das bleibt doch unzweideutig bestehen.[2] —

Trotz dieser einer ganz directen und einfachen theoretischen Verwerthung entgegenstehenden Hindernisse bieten übrigens die

---

[1] Bloom und Garten, Vergleichende Untersuchungen über die Sehschärfe des hell- und des dunkeladaptirten Auges. Pflüger's *Archiv* LXXII, S. 372.

[2] Uebrigens sei schliefslich erwähnt, dafs auch die neuerlich von Bloom und Garten (a. a. O.) gemachten Mittheilungen mir stark für die Duplicität des betheiligten Apparats zu sprechen scheinen. Nach unitarischer Auffassung war doch ohne Zweifel zu erwarten, dafs man im hell- und im dunkeladaptirten Auge die gleichen Sehschärfen erhalten werde, wenn die Lichtstärken so gewählt würden, dafs die gesehene Helligkeit etwa auf den gleichen Werth sich stellte. Es ist eine gewifs beachtenswerthe Thatsache, dafs in jenen Beobachtungen dies nicht der Fall war. Es ist schwer zu sehen, welchen Angriffspunkt die unitarische Auffassung hier für eine Erklärung finden kann.

von H. und H. mitgetheilten Thatsachen manches Beachtenswerthe.

Es heifst (a. a. O. S. 122): „Aus den bei Frl. F. mit helladaptirtem Auge vorgenommenen Messungen geht hervor (s. Tabelle), dafs das Unterscheidungsvermögen bei ihr vom Centrum nach der Peripherie allmählich abnimmt. Vergleichende Messungen ergaben, dafs die Abnahme in ganz analoger Weise stattfindet, wie in meinem (Hess) normalen Auge. Die Unterschiede zwischen den an ihrem und an meinem Auge gefundenen Zahlen liegen innerhalb der Fehlergrenzen."

Wenn ich den letzten Satz nicht mifsverstehe, so besagt er wohl, dafs in der Peripherie (von etwa 10° ab) die Sehschärfe des total farbenblinden und des normalen Auges nahe übereinstimmen. Da nun central die Sehschärfe des total farbenblinden eine viel geringere ist, so ist denn doch die „Analogie" der vom Centrum gegen die Peripherie hin stattfindenden Abnahme keine vollständige. Dies bestätigen und erläutern die weiteren Angaben (S. 123). Frl. F. konnte central den Haken von 2 mm Seitenlänge, aus 24 cm Entfernung betrachtet, noch sicher erkennen; doch ist dies wohl der Grenze schon nahe gewesen (da er bei Momentanbeleuchtung nur noch ein Mal unter 6 Malen erkannt wurde). Bei 1° 40′ Excentricität war der 3 mm-Haken leicht, lei 4° 40′ „sehr mühsam" zu erkennen. Darnach ist beim Uebergange vom Centrum zum Abstande 1° 40′ die Sehschärfe etwa auf $^2/_3$, zu 4° 40′ wohl auch nur wenig mehr abgesunken. Im normalen Auge sinkt bei diesen Excentricitäten die Sehschärfe schon viel stärker.

Wenn H. und H. sagen (S. 123), dafs das räumliche Unterscheidungsvermögen der Farbenblinden in analoger Weise vom Centrum nach der Peripherie abnimmt, wie bei uns, so legt diese Formulirung jedenfalls die Auffassung sehr nahe, dafs die Sehschärfe des Farbenblinden überall etwa den gleichen Bruchtheil von der normalen darstelle. Dies scheint nach dem Obigen ganz und gar nicht der Fall zu sein. Der Unterschied beschränkt sich vielmehr auf einen mäfsigen centralen Bezirk, innerhalb dessen die Sehschärfe des Farbenblinden geringer ist und viel langsamer abnimmt, während sie aufserhalb die gleichen Werthe zeigt, wie beim Normalen.

Nicht minder unzutreffend ist es, wenn die Verff. einen Widerspruch gegen meine Annahmen daraus herleiten wollen,

dafs auch das total farbenblinde Auge, dunkeladaptirt, central geringere Lichtempfindlichkeit besitze. Weil nach mir, wie sie sagen, die centrale Minderempfindlichkeit „lediglich dadurch bedingt sein soll, dafs die Netzhaut an dieser Stelle nur Zapfen enthält“, schreiben sie mir die Meinung zu, dafs alle überhaupt stäbchenhaltigen Theile gleiche Empfindlichkeit besitzen müfsten.

Ich wüfste nicht, welche Stelle meiner Arbeiten berechtigen könnte, mir diese Annahme, die alle Möglichkeiten verschiedener Leitungsverhältnisse, verschiedenen Purpurreichthums u. s. w. schlechtweg ignorirte, auch nur als Vermuthung, geschweige als nothwendiges Requisit der Stäbchentheorie zuzuschreiben.

Auch das endlich ist eine von Hering und Hess mir zugeschriebene, von mir aber niemals ausgesprochene Meinung, dafs der total Farbenblinde in hellerer Beleuchtung wegen Einbufse an Sehpurpur nur dunkles Grau empfinden könne (a. a. O. S. 111). Ob die Adaptation für den Empfindungseffect die Wechsel der Beleuchtung ganz oder theilweise compensire oder übercompensire (wie H. und H. ohne jeden Grund postuliren), darüber habe ich nie eine Meinung ausgesprochen. M. E. beruht das schlechte Sehen des total Farbenblinden in hellem Licht auf der hochgradigen localen Adaptation und dem sehr langen Nachdauern der Reize; daher die Klage, dafs ihnen „Alles verschwimmt“, wie Marie Binder immer angab, wenn man eine Erklärung für die Abneigung gegen starke Beleuchtung sich ausbat. Für den Normalen ist dies nicht der Fall, weil die Reizungseffecte der Zapfen in einem grofsen Uebergewicht sind.

Wenn daher H. und H. sagen: „Die von v. Kries betreffs der total Farbenblinden entwickelten Ansichten haben sich somit sämmtlich nicht bestätigt“, so darf ich dazu bemerken, dafs es sich dabei um e i n e Ansicht handelt, die ich sehr ausdrücklich nur als eine zunächst möglich erscheinende bezeichnet habe, im Uebrigen aber um eine Anzahl von Ansichten, die die Verff. ohne mir ersichtliche Berechtigung in die Stäbchentheorie hineinconstruirt haben.

Die Angaben von H. und H. sind leider nur sehr kurz in Bezug auf den Punkt, über den Genaueres zu erfahren besonders interessant gewesen wäre, nämlich die bei den total Farbenblinden ermittelte Abhängigkeit der Sehfunction von der Helligkeit. Es wurde „in verschiedener Weise festgestellt, dafs die Sehschärfe bei Frl. F. um so kleiner wurde, je weiter die Lichtstärke unter das

für sie günstigste Maafs herabgesetzt wurde. So vermochte sie bei Abenddämmerung und 20 cm Abstand vom Auge Jäger Nr. 11 nur noch langsam zu lesen und bei noch stärkerer Herabsetzung der Beleuchtung nur noch Nr. 14." (S. 124.) Das ist freilich nicht überraschend. Aber wie hell mag jenes günstigste Maafs, wie hell die Abenddämmerung, wie hell die noch stärker herabgesetze Beleuchtung gewesen sein? Nach anderen Erfahrungen an total Farbenblinden ist der Unterschied der Sehschärfe zwischen ihnen und den Normalen bei herabgesetzten Beleuchtungen nicht mehr zu bemerken, also die Abhängigkeit der Function von der Helligkeit doch auch ganz anders als beim Normalen, eine Thatsache, die doch gewifs beachtenswerth ist. Die obigen Angaben sagen nicht, dafs dies auch hier zutraf; aber sie schliefsen es nicht aus.

Resumirt man, so kann gesagt werden, dafs maximale Sehschärfe, locale Verhältnisse der Sehschärfe im centralen Bezirk, und Abhängigkeit der Sehschärfe von der Helligkeit sich beim total Farbenblinden ganz anders als beim Normalen verhalten. Und hier darf denn wohl auch gefragt werden, welche Erklärung wir denn für all dies haben, wenn die totale Farbenblindheit auf dem Fehlen der farbigen Sehsubstanzen beruhen soll, oder wie die hiernach weiter anzunehmende Modification der „schwarzweifsen Sehsubstanz" greifbar gemacht werden soll. Die Verff. erwähnen nicht einmal, dafs derartige Annahmen zu machen seien.

Kürzer darf ich mich über die Untersuchungen von Hess fassen, die sich neuerdings mit der Einwirkung kurz dauernder Lichtreize resp. mit den Nachbildern bewegter leuchtender Punkte beschäftigen. Beim Studium der H.'schen Arbeit sind mir immer Zweifel aufgestiegen, ob H. die Erscheinung, von der Young, Davis, Exner, Bidwell, ich u. A. reden, überhaupt und namentlich in seinen neueren Versuchen rein zu sehen bekommen hat, ob er nicht, und zwar wegen Anwendung zu starker Lichter ganz andere Dinge beobachtet hat. Dieser Gedanke ist dadurch nahe gelegt, dafs H. die seit Jahrzehnten bekannte Fundamentaleigenschaft, der zu Folge das Purkinje'sche Nachbild als ein in der Regel positiv complementär gefärbtes bezeichnet wird, ganz in Abrede stellt.

Wenigstens die Blaufärbung des Nachbildes bei Anwendung gelben Lichts hätte Hess bei Einhaltung der richtigen Versuchs-

bedingungen m. E. sehen müssen; denn diese ist von ganz unverkennbarer Deutlichkeit und demgemäfs auch von allen früheren Autoren constatirt worden.[1]

Bei Anwendung sehr heller Lichter sind aber die Erscheinungen allerdings ganz andere, und ich komme damit auf einen Punkt, in dem Hess meine Anschauungen durchaus mifsverstanden hat. Niemals ist es mir eingefallen zu meinen, dafs der Zapfenapparat keinerlei positive Nachbilder liefern könne. Den gleichgefärbten Schweif, in den man bei lichtstarken Objecten das primäre Bild sich ausziehen sieht, habe ich, wie sich aus all meinen Darstellungen ergiebt, auf die kurze Nachdauer im Zapfenapparat zurückgeführt.[2]

Macht man die Lichter stark, so streckt sich auch dies gleichfarbige Bild in die Länge und es kommt bei hohen Lichtstärken zunächst dazu, dafs es das secundäre erreicht (das charakteristische Intervall also verschwindet) oder auch es überdeckt und unbemerkbar macht. Es hat mich nicht überrascht, dafs H. einer Anzahl von Personen gleichfarbige Nachbilder demonstriren konnte. Im Widerspruch mit meinen Erfahrungen wäre es nur, wenn hier zugleich das lange Dunkelintervall ($^1/_5$—$^1/_4$ Sec.) bemerkbar gewesen wäre. Das aber wird nicht angegeben. Aus diesem Grunde also vermuthe ich, dafs H. in der Regel Lichtstärken benutzt hat, die für die Beobachtung des nachlaufenden Bildes viel zu hoch waren.[3]

Auch in Bezug auf die Sonderstellung der Fovea sind viel-

[1] Sowohl in Bezug auf die Färbung der nachlaufenden Bilder als auch hinsichtlich einiger anderer Punkte verweise ich übrigens auf eine demnächst erscheinende weitere Mittheilung aus dem hiesigen Institut.

[2] Ob auch hier bei sehr kurzen und intensiven Beleuchtungen eine negative Phase von ganz anderer Gröfsenordnung unter Umständen beobachtet werden kann, wie dies besonders Charpentier angiebt, möchte ich dahingestellt sein lassen.

[3] Vielleicht liegt hierin auch der Grund dafür, dafs Hess die Erscheinung so sehr durch Ermüdung veränderlich fand und daher Pausen von 15—20 Sec. zwischen den einzelnen Beobachtungen verlangt. Bei unserem Verfahren sieht man bei umlaufendem Object die charakteristischen Erscheinungen in sehr kurzen Pausen (1,5—2 Sec.) wiederholt und viele Male hinter einander völlig übereinstimmend, wodurch die Beurtheilung an Sicherheit gewinnt. Der Einwand von Hess, dafs die Wiederholung durch Ermüdung schädige, ist umsomehr gegenstandslos, als die Erscheinung ja stets auch bei der erstmaligen Wendung des Blicks auf die Fixirmarke zu beobachten ist.

leicht die Differenzen zum Theil auf die eben erwähnten Umstände zurückzuführen. Ich muſs aufs Entschiedendste bestreiten, daſs das Springen des Nachbildes am Fixirpunkt auf den ermüdenden oder sonstwie störenden Einfluſs des Fixirzeichens selbst zurückzuführen sei. Fixirt man (zweckmäſsig mit Hülfe einer zweiten ähnlichen Marke) d a n e b e n, so sieht man aufs Deutlichste das Nachbild über das (nunmehr nicht fixirte, sondern mäſsig excentrisch gesehene) Lichtzeichen hinlaufen. Ob Hess hier durch die Benutzung überschüssig lichtstarker Fixirzeichen Fehlerquellen eingeführt hat, vermag ich nicht zu beurtheilen. Ich selbst habe stets, wie ich gegenüber der von H. gemachten Andeutung hervorheben muſs, die Zeichen so lichtschwach gewählt, daſs sie der Grenze der centralen Sichtbarkeit nahe standen. Wählt man das röthliche Licht eines schwach glühenden Platindrahts oder Glühlämpchens, so erscheinen diese Zeichen bei schwacher Dunkeladaptation paracentral zwar etwas, aber nicht sehr viel heller als im Centrum; das Hinübergleiten des Nachbildes (ohne Sprung) ist dort selbst bei erheblich gröſseren Lichtstärken vollkommen deutlich zu sehen.

So entschieden ich also daran festhalten muſs, das in Bezug auf die nachlaufenden Bilder der centrale Bezirk functionsunfähig ist (oder zum Mindesten in seiner Leistung bis zur Unmerklichkeit hinter den Nachbartheilen zurückbleibt), so wenig habe ich je daran gedacht, das Vorkommen positiver Nachbilder auf der Fovea überhaupt in Abrede zu stellen. Mir, wie zahlreichen anderen Autoren vor mir, ist das Purkinje'sche Nachbild ein besonderes, von dem allbekannten positiv gleichgefärbten Nachbild durchaus zu unterscheidendes Phänomen gewesen. Indem Hess die nur ihm eigene Vorstellung, daſs es nur e i n e Art positiven Nachbildes gebe, in meine Ansichten hineinträgt, gelangt er dazu, mir die ungereimte Meinung zuzuschreiben, daſs es auf der Fovea überhaupt keine positiven Nachbilder gebe. Es wundert mich nicht, daſs bei den S. 463 angeführten Versuchen (mittels eines Momentverschlusses aufleuchtende Bilder) foveale Nachbilder gesehen wurden. Bezweifeln aber möchte ich (obwohl die „negative Phase“ hier erwähnt wird) ob die Lichtstärken von der Art waren, daſs das charakteristische lange Intervall des Purkinje'schen Nachbildes ($^1/_5$—$^1/_4$ Sec.) wahrgenommen wurde.

Entgegen meinen Angaben findet H., daſs nach mehr-

stündiger Dunkeladaptation die Erscheinungen im Wesentlichen ebenso wie bei kurzer Dunkeladaptation sich verhalten. Dem Obigen zufolge mufs ich aber auch bezweifeln, ob er hier die charakteristische Form des Phänomens gesehen hat, deren Fehlen ich fand.

Es erledigt sich nach dem eben Gesagten auch der scheinbare Widerspruch in Bezug auf die Wahrnehmung positiver Nachbilder durch total farbenblinde Personen. Dafs diese die umlaufenden Objecte bei höheren Lichtstärken in lange Schweife ausgezogen sehen, habe ich nie bezweifelt oder in Abrede gestellt. Aber davon habe ich mich nicht überzeugen können, dafs M. Binder ein „recurrent image", ein von dem primären Bilde durch ein grofses Intervall von ca. $^1/_5$ Sec. getrenntes zweites Bild unter irgend welchen Umständen wahrgenommen hätte. Und eben dies fand ich bei einem mit Hemeralopie Behafteten fehlend.[1]

Indem ich mich der Arbeit Tschermak's zuwende, darf ich zunächst deutlicher als der Autor selbst es gethan hat, den Punkt hervorheben, in dem seine Ergebnisse, den früheren Hering'schen Behauptungen entgegen, sich den Befunden von König, mir u. A. anschliefsen.

Endlich, darf man sagen, hat auch die Hering'sche Schule sich davon überzeugt, dafs helläquivalente Lichter ungleichen Dämmerungswerth besitzen können. Wenn T.'s. Darstellung die Wichtigkeit dieser Constatirung und ihren Gegensatz zu Hering's bisheriger Stellung wenig bemerklich macht, so soll ihm dies nicht verargt werden. Uns darf wohl gestattet werden, darauf hinzuweisen, dafs Hering eben die Unabhängigkeit der optischen Gleichungen von der Stimmung des Sehorgans mit besonderem Nachdruck ganz allgemein behauptet hat. Den „Satz von der Constanz der optischen Valenzen" erklärte er[2] für einen Hauptsatz der Lehre vom Lichtsinne und noch 1893 schrieb er: „Das Newton'sche Gesetz der Farbenmischung hat zur Voraussetzung, dafs alle Farbengleichungen unabhängig sind nicht nur von Erregbarkeitsänderungen des Sehorgans, sondern

[1] Beiläufig sei hier bemerkt, dafs neuerdings im hiesigen Institut auch an einem anderen Hemeralopen das Fehlen des secundären Bildes constatirt worden ist.

[2] Hering, Ueber Newton's Gesetz der Farbenmischung. *Lotos* VII, 1887, S. 40 des S.-A.

auch von Aenderungen der Lichtintensität, sofern dieselben alle betheiligten Lichter im gleichen Verhältnifs treffen. Durch mannigfache Versuchsreihen habe ich mich immer wieder von der Richtigkeit dieser beiden Voraussetzungen überzeugt."[1]

Bei der Schwierigkeit, auf die es stöfst, den Einflufs beider Momente, Lichtstärke und Adaptation, von einander zu sondern (übrigens auch, wie sogleich zu berühren sein wird, im Hinblick auf theoretische Consequenzen), kann es jedenfalls einmal als die Hauptsache gelten, festzustellen, dafs bei hohen Lichtstärken und Helladaptation andere Gleichheitsbedingungen existiren als bei geringen Lichtern und Dunkeladaptation. In diesem Punkte Uebereinstimmung erzielt zu haben ist ohne Zweifel ein Fortschritt, selbst wenn über die Bedingungen des ganzen Phänomens die Meinungen noch aus einander gehen.

Ich bespreche nun kurz die Punkte, in denen Tschermak's Ergebnisse sich von den meinigen noch unterscheiden. Der erste ist der, dafs T. eine Abhängigkeit der Gleichungen nur von der Adaptation und nicht von der Lichtstärke behauptet, während ich den Unterschied der Hell- und der Dämmerungsgleichung auf beide Momente bezogen habe. Ich will es abwarten, ob die Hering'sche Schule jenen Satz aufrecht erhalten wird, wenn sie die betr. Erscheinungen für das Sehorgan eines Deuteranopen geprüft haben wird, wozu sich ja wohl die Gelegenheit auch einmal finden wird. Nach meinen Erfahrungen (und implicite bestätigen das eigentlich auch schon die Beobachtungen von Hering und Hillebrand) findet man ganz feste und constante Resultate für die Dämmerungswerthe, mag man nach relativ kurzer oder nach sehr langer Dunkeladaptation untersuchen, sofern nur die Lichtstärken immer so gering gewählt sind, dafs keine Farben gesehen werden. Genügende Lichtabschwächung ist also immer ausreichend, die nämlichen Gleichheitsbedingungen herbeizuführen, selbst bei stark wechselndem Adaptationszustand.

Daraus geht schon hervor, dafs der Tsch.'sche Satz nicht richtig sein kann. Auf die Schwierigkeiten, die es hat, sehr verschiedene Lichtstärken bei gleichem Adaptationszustande zu prüfen, will ich nicht eingehen.

Der zweite Punkt ist der, ob die erwähnten Differenzen

[1] Hering, Ueber den Einflufs der Macula lutea auf spectrale Farbengleichungen. Pflüger's *Archiv* 54, S. 309, 1893.

auch für den kleinen centralen (stäbchenfreien) Bezirk gelten oder nicht. Auch in dieser Hinsicht wird ja wohl das Ergebnifs weiterer Versuche abzuwarten sein und auch hier glaube ich, dafs die Beobachtungen der Dichromaten ungemein viel aussichtsreicher sind. Für diese können weifse Felder hergestellt werden, die, bei der Hellbeobachtung gleich erscheinend, bei der Dämmerungsbeobachtung so stark verschieden sind, dafs das eine den 7 fachen Helligkeitswerth vom anderen besitzt. Bei derartigen Feldern sahen NAGEL und STARK die Hellgleichungen auch nach Dunkeladaptation und bei abgeschwächter Beleuchtung central gültig bleiben. Zu beurtheilen, ob eine g e r i n g e Helligkeitsdifferenz zweier Felder bei genau centraler Fixation besteht, halte ich für äufserst schwierig. Und die Methode T.'s, bei der die Fixirmarke nur als dunkler Fleck in den hellen Feldern gegeben ist, scheint mir keineswegs glücklich; bei lichtschwachen Feldern bietet sie gewifs keine genügend sichere Fixation.[1] Dafs die Benutzung eines centralen Lichtpünktchens geeignet sei, wie T. meint „entweder die Wirkung der centralen Dunkeladaptation zu zerstören oder wenigstens durch Contrast den Helligkeitsunterschied zu beeinträchtigen", ist ein wenig stichhaltiger Einwand. Es ist ja ganz selbstverständlich, dafs bei all diesen Versuchen nicht etwa dauernd fixirt wird; sondern von irgend einer anderen Stellung ausgehend wird das Auge plötzlich auf die Fixirmarke gerichtet und sofort das Aussehen der Felder beurtheilt. Dies ist ja schon unbedingt nothwendig, um die Hauptgefahr, das Gleichwerden der Felder durch die Localadaptation, zu vermeiden. Wie soll hierbei die centrale Adaptation sofort aufgehoben werden, eine Annahme, die sich übrigens am seltsamsten im Munde T.'s ausnimmt, der es für möglich hält, das Aussehen lichtstarker Gleichungen für dunkeladaptirte Theile zu prüfen. Wie durch Contrast eine Helligkeits d i f f e r e n z beeinträchtigt werden soll, ist noch schwerer ersichtlich.

---

[1] Aus dem gleichen Grunde finde ich auch die von SHERMAN (WUNDT's *Philosophische Studien* XIII, S. 434) mitgetheilten Beobachtungen über das PURKINJE'sche Phänomen im Netzhautcentrum für mich nicht überzeugend. Hier sollte die Mitte der zwischen rothem und blauem Feld verlaufenden dunkeln Trennungslinie fixirt werden. Die Seite des quadratischen Feldes war über 2° lang. Die Mitte der dunkeln Linie, deren absolut genaue Fixirung also erforderlich gewesen wäre, ist, soweit ich sehe, gar nicht markirt gewesen.

Die ganze Frage des Verhaltens der Fovea sollte, wie ich glaube, schon gegenwärtig nicht unter einem ganz speciellen Gesichtspunkt sondern in etwas allgemeinerer Weise und im Zusammenhang mit den anderen Erscheinungen betrachtet worden. Erwägen wir die Thatsachen allgemeiner, so stellt sich, wie mir scheint, heraus, dafs nunmehr auch die Hering'sche Schule auf dem Wege angelangt ist, der zu der Annahme eines gesonderten Dunkelapparats führt. Der total Farbenblinde sieht die verschiedenen Lichter in Helligkeitsverhältnissen, wie der Normale beim Dämmerungssehen; aber die hier zu ermittelnden Helligkeitswerthe, während sie für den total Farbenblinden durchweg zutreffen, sind für das normale helladaptirte Sehorgan nicht mehr gültig. Folgerichtig gelangt auch T. dazu, die Frage zweier verschiedener, die Weifsempfindung vermittelnder Sehstoffe wenigstens zu discutiren [1] und folgerichtig vermutet er, dafs im total farbenblinden Sehorgan, „abgesehen von dem die Farbenempfindung vermittelnden Apparate auch jener unbekannte Factor fehlt, welcher die Störungen farbloser Gleichungen bei Zustandsänderung (Hell- oder Dunkeladaptation) im farbentüchtigen Sehorgan bedingt". Die Argumente, die für die Existenz eines besonderen Dunkelapparats und gegen eine durch die Adaptation bewirkte Beschaffenheitsänderung des im Hellen functionirenden Organtheils sprechen, lassen sich gegenwärtig noch vermehren. Es gehört hierher eine Beobachtung, deren Ausführung in jüngster Zeit Herrn Dr. Nagel gelang und welche lehrt, dafs auf gewisse Weise auch bei ganz geringer Dunkeladaptation eine Function beobachtet werden kann, die die einzelnen Lichter nach Maafsgabe ihrer Dämmerungswerthe auslösen. Dies ist das nachlaufende Bild. In der That konnte Dr. Nagel sich überzeugen, dafs zwei bei ruhender Betrachtung gleich erscheinende Lichter, ein homogenes Blaugrün und ein Rothblaugemisch, beide etwa farblos erscheinend, sich ebenso wie bez. ihrer Dämmerungswerthe auch bez. der nachlaufenden Bilder

---

[1] Die Frage, ob, weil die Apparate verschiedene Schwellenwerthe haben, für die Gleichungen auch die absolute Intensität der Lichter in Betracht kommt, oder ob, wie T. annimmt, die Reizwirkungen ohne Weiteres von dem Mischungsverhältnifs beider Sehstoffe abhängig zu denken wären, die Gleichungen also nur vom Zustande des Auges und nicht von der Intensität der Lichter abhängen, ist unter diesem Gesichtspunkt in der That, wie oben schon erwähnt, von nur secundärer Bedeutung.

sehr stark unterscheiden. Das homogene Licht lieferte ein sehr deutliches, das Gemisch ein viel schwächer oder gar nicht sichtbares nachlaufendes Bild.[1] In der gleichen Richtung beachtenswerth ist dann auch das Springen der nachlaufenden Bilder, welches bei ganz geringer Dunkeladaptation zu beobachten ist. Unter diesen Umständen sieht das Centrum mittelstarke Lichter bei gewöhnlicher Dauerbetrachtung noch ebenso hell wie die Peripherie. Das Verhalten des nachlaufenden Bildes zeigt uns aber, dafs in einer bestimmten Beziehung gleichwohl das Centrum zum Mindesten sehr viel weniger leistungsfähig ist als die Umgebung. Auch hieraus ergiebt sich, dafs der Unterschied von Peripherie und Centrum keineswegs erschöpfend durch die dem Centrum zugeschriebene „geringe Adaptationsfähigkeit" erklärt werden kann.

Mir scheint nach alledem die Hoffnung berechtigt, dafs zunächst einmal insofern eine Uebereinstimmung der Autoren sich herausstellen wird, als die Existenz eines besonderen Dunkelapparats für wahrscheinlich erachtet wird, bezüglich dessen localer Verbreitung jedenfalls das sicher wäre, dafs er im Centrum nur in äufserst reducirtem Maafse vorhanden ist. Man hat bei dieser Auffassung dann die Frage allgemein zu stellen, ob sich Spuren des Dunkelapparats auch in der Fovea nachweisen lassen, und man wird selbstverständlich gut thun, zu ihrer Beantwortung vor Allem diejenigen Methoden heranzuziehen, die ein möglichst sicheres Ergebnifs zu liefern geeignet sind. In dieser Richtung gedenke auch ich noch Weiteres zu versuchen. Dafs die Thatsachen, auf die ich ursprünglich die Theorie stützte, ein absolutes Fehlen des Dunkelapparats im Centrum nicht streng beweisen, sondern sich auch als eine, vollkommenem Fehlen sich nur annähernde Reduction auffassen lassen, mufs ich selbstverständlich zugeben. Auf der anderen Seite mufs ich aber sagen, dafs bis jetzt kein Verfahren, welches ich für einwurfsfrei und zuverlässig anerkennen möchte, ein central lückenloses Vorkommen des Dunkelapparats herausgestellt hat.

Ich will die verschiedenen in dieser Hinsicht geltend gemachten Momente nicht nochmals erörtern und beschränke mich

---

[1] Die Beobachtung wurde am Helmholtz'schen Farbenmischapparat ausgeführt, und zwar so, dafs die Felder mittels eines kleinen, dicht am Ocularspalt angebrachten Spiegelchens gesehen wurden, das um eine auf seiner Fläche etwas schiefwinkelig stehende Axe rotirte.

auf eine Bemerkung bez. der fovealen Adaptation. Es wäre selbstverständlich ein Irrthum, zu glauben, dafs ich Ermüdungen oder Umstimmungen des Zapfenapparats überhaupt nicht annähme. Schon die negativ-complementären Nachbilder beweisen ja diese und ich habe daher immer dem Dunkelapparat nur einen (im Vergleich zu den Zapfen) besonders hohen Grad von Adaptationsfähigkeit zugeschrieben. Was die Beobachtungen über die fovealen Schwellenwerthe anlangt, so bin ich durch die kurze Angabe T.'s (a. a. O. S. 319) noch nicht von einem wirklichen Gegensatz überzeugt. Die Untersucher des hiesigen Instituts fanden, dafs, wenn man die ersten paar Minuten vorübergehen läfst (in denen wegen der zufälligen Beschaffenheit der vorher gesehenen Lichter und aller Nachbilder überhaupt Schwellenwerthe schwer zu bestimmen und von keiner einheitlichen Bedeutung sind), alsdann eine Abnahme der centralen Schwellenwerthe bei längerem Dunkelaufenthalt sich nicht herausstellt. T. giebt über die Zeiten nichts Genaueres an; es bleibt also zunächst die Frage offen, ob er die (fovealen) Schwellenwerthe vielleicht in den ersten 3—4 Minuten des Dunkelaufenthalts abnehmen sah. Nur wenn er eine stetige Abnahme auch weiterhin, von der 5. bis zur 30. Minute und noch länger (wie es für die Peripherie gilt), auch foveal gefunden hätte, stände das mit den hiesigen Erfahrungen im Widerspruch. — Die einzige Thatsache, die einigermaafsen für das Auftreten des Dunkelapparats im stäbchenfreien Bezirk zu sprechen scheint, ist die Zunahme der Empfindlichkeit, die schon bei ganz geringen Excentricitäten gegenüber dem Centrum selbst bemerkt wird. Ein Beweis kann aber darin gewifs nicht erblickt werden. Auch der gleiche Sehapparat kann selbstverständlich aus mancherlei Gründen (z. B. mit abnehmender Sehschärfe, wegen günstigerer Circulations- und Ernährungsverhältnisse u. s. w.) abnehmende Schwellenwerthe zeigen. Gegen das foveale Vorkommen des Dunkelapparats sprechen die vorhin erwähnten Beobachtungen der Dichromaten und das Fehlen des farblosen Intervalls beim Blau, woran ich für mich festhalten mufs, in Uebereinstimmung mit PERTZ und FICK.[1]

---

[1] Im Uebrigen kann ich nur wiederholen, was ich bereits bei einer früheren Gelegenheit sagte, dafs mir eine absolute Freiheit des Centrums vom Dunkelapparat durchaus kein absolutes theoretisches Postulat ist. Als ich die Hypothese von dem gesonderten Dunkelapparat aufstellte, habe

Wichtiger aber als die Einigung über diesen schwer ganz sicher zu entscheidenden Punkt wäre es, wenn die Hering'sche Schule zur Anerkennung und Bestätigung der ganz palpabeln Thatsachen sich veranlafst fände, die König, ich u. A., im Widerspruch mit Hering's früheren Lehren, gefunden haben. In dieser Richtung darf die T.'sche Arbeit, trotz der Differenzen, die noch bleiben, und trotz der ablehnenden Form, wohl als ein erster Schritt begrüfst werden, sofern in ihr „der Satz von der Constanz der optischen Valenzen" fallen gelassen ist.

---

ich die Frage, ob Stäbchen oder Sehpurpur Substrat des Dunkelapparats seien, in der Annahme, dafs der Purpur ausschliefslich in den Stäbchen vorkomme, gar nicht aufgeworfen, und ich habe, wenn ich meist die Stäbchen als Dunkelapparat bezeichnete, damit in dieser Richtung eine Entscheidung nicht treffen wollen. Sollte ein Vorkommen von Spuren des Dunkelapparats im stäbchenfreien Gebiet sich bewahrheiten, so wäre an das Eindringen des Purpurs zu denken, eine Vorstellung, der ich um so weniger abgeneigt bin, als auch die nachlaufenden Bilder den Gedanken eines aufserhalb der Stäbchen befindlichen Purpurs angeregt haben. Uebrigens hat wohl hinsichtlich der Fragen, bis zu welchem Centralabstand vereinzelte Stäbchen noch vorkommen und welche Rolle hier individuelle Verschiedenheiten spielen, auch die histologische Untersuchung noch keineswegs ihre Akten geschlossen.

Ueber die sogenannte Flimmer-Photometrie.

Von

Dr. O. Polimanti.

(Mit 4 Fig.)

Bekanntlich ist vor längerer Zeit von Rood eine Beobachtung gemacht worden, die, wie zuerst von ihm, so neuerdings mehrfach so aufgefafst worden ist, dafs man durch sie zu einer Vergleichung der Helligkeit verschiedener Farben gelangen könne. Die Beobachtung bestand darin, dafs für jedes farbige Licht bestimmter Qualität und Stärke ein farbloses Licht aufgefunden werden kann, welches, mit jenem abwechselnd zur Einwirkung auf die Netzhaut gebracht, schon bei der geringsten Intermittenzzahl eine continuirliche Empfindung liefert und kein Flimmern mehr bemerken läfst. Das Flimmern tritt bei unveränderter Zahl der Lichtwechsel wieder auf, wenn das farblose Licht heller oder dunkler gemacht wird. Der hieran geknüpfte Gedanke war der, dafs das farbige Licht dem so gefundenen farblosen gleich hell zu nennen sei. Beobachtungen dieser Art sind in neuerer Zeit hauptsächlich von Schenck[1] ausgeführt worden. In naher Beziehung hierzu stehen auch die Versuche von Rivers[2] und von Haycraft.[3] Doch mufs betont werden, dafs das von diesen Autoren zu Grunde gelegte Princip, nach welchem diejenigen farbigen und farblosen Lichter gleich hell

[1] Schenck, Ueber intermittirende Netzhautreizung. 1. Mittheilung. Pflüger's *Archiv* 64, S. 607.

[2] Rivers, Photometry of coloured Papers. *Journal of Physiology* 22, S. 137.

[3] J. B. Haycraft, Luminosity and Photometry. *Journal of Physiology* 21, S. 126.

gesetzt werden, die unterbrochen, also im Wechsel mit Schwarz einwirkend, gleiche Intermittenzschnelligkeiten zum Verschwinden des Flimmerns erfordern, mit dem Eingangs erwähnten nicht ohne Weiteres identificirt werden kann. Meine Beobachtungen haben sich im Wesentlichen dieser, auch von SCHENCK benutzten Grundthatsache angeschlossen. Nach den neuerlichen Ermittelungen, insbesondere über die Peripheriewerthe, erschien es wünschenswerth, derartige Beobachtungen an einem auch in anderen Beziehungen vielfach untersuchten und gut bekannten Spectrum, dem Dispersionsspectrum des Gaslichts, auszuführen, überdies dabei mehr, als in der bisherigen Beobachtung geschehen, dem Adaptationszustande Rechnung zu tragen. Ich bin daher gern dem Vorschlage des Herrn Professor v. KRIES gefolgt, eine Reihe von Untersuchungen in dieser Richtung anzustellen.

Der Darlegung der Methode und der Ergebnisse schicke ich noch einige Erwägungen voraus. Es handelt sich nach dem gegenwärtigen Zustand unseres Wissens bei allen Untersuchungen, die die Gesichtsempfindungen betreffen, vornehmlich um die Untersuchung zweier extremer Fälle: des Sehens einerseits bei gröfseren Lichtstärken und bei helladaptirtem Sehorgan, andererseits bei schwachem Licht und Dunkeladaptation. Nach bekannten Thatsachen ist selbstverständlich, dafs von einer „Flimmerphotometrie“ für den letzteren Fall nicht wohl die Rede sein kann. Da nämlich beim Dämmerungssehen sich für je 2 Lichter, welcher Art sie auch sein mögen, stets ein Verhältnifs finden läfst, in dem sie durchaus gleich erscheinen (Alles wird ja farblos gesehen), so versteht sich von selbst, dafs auch die intermittirende Einwirkung zweier solcher Lichter, mag sie nun in schnellerem oder langsamerem Rhythmus erfolgen, immer eine stetige Empfindung liefern wird. Man könnte also in diesem Falle, in dem die zu vergleichenden Lichter bei passender Wahl der Intensitäten vollkommen übereinstimmend gesehen werden, von einer Flimmerphotometrie überhaupt nicht reden; das eigentlich Charakteristische des Verfahrens jedenfalls ist dabei in Fortfall gekommen; will man es rein formell auch auf diesen Fall ausdehnen, so ist das Ergebnifs selbstverständlich: es kann nichts Anderes liefern, als die bekannte Vertheilung der Dämmerungswerthe.

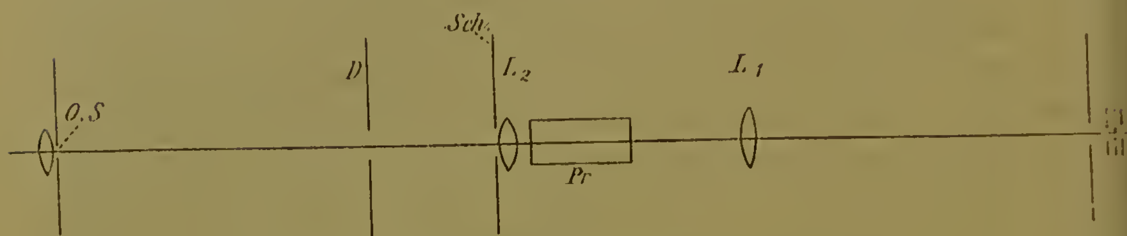
Hiernach habe ich denn meine Beobachtungen auf das

andere Extrem, möglichst helladaptirtes Auge und ziemlich hohe Lichtstärken, eingeschränkt. Die Aufgabe einer derartigen Untersuchung (das wäre ein weiterer Punkt, der hier kurz zu berühren ist) möchte ich nicht ohne Weiteres mit einigen der früheren Autoren als eine photometrische, als eine Helligkeitsmessung bezeichnen. Denn es ist zum Mindesten fraglich, ob überhaupt in einem ganz festen und bestimmten Sinne z. B. ein gelbes und ein grünes Licht gleich hell genannt werden dürfen, und ob die Frage, welches gelbe Licht einem gegebenen grünen gleich hell sei, einen so bestimmten Sinn hat, dafs man ihre Beantwortung als ein Ziel der Untersuchung ansehen kann. Da ich mich natürlich hier nicht in tiefe psychologische Erörterungen einlassen kann, so erscheint es mir am besten, Ziel und Ergebnisse der Untersuchung in einer möglichst unverfänglichen Weise zu bezeichnen. Ich will daher ein farbiges Licht demjenigen farblosen, mit dem es bei geringster Zahl der Wechsel eine stetige Empfindung liefert, „flimmeräquivalent" nennen; in einer unmittelbar verständlichen Weise kann man dann auch von einer Ermittelung der „Vertheilung der Flimmerwerthe im Spectrum" reden (sie bedeutet dasselbe, wie eine auf der Flimmermethode basirte Ermittelung der Helligkeitsvertheilung im Spectrum, nur mit Vermeidung der bei dieser letzteren Formulirung präsumirten theoretischen Deutung).[1]

Das Verfahren, dessen ich mich zur Ermittelung der Flimmerwerthe bediente, schlofs sich in mancher Beziehung demjenigen an, welches v. Kries zur Bestimmung der Peripheriehelligkeiten angewendet hat. Die benutzte Aufstellung konnte auch ganz ohne Weiteres für diesen letzteren Zweck verwendet werden; sie unterschied sich jedoch von der damals benutzten vornehmlich dadurch, dafs ein eigens für diesen Zweck gebauter Spectralapparat die etwas unbequeme Aufstellung an (eigentlich in) der Thür zweier Dunkelzimmer entbehrlich machte. Der Spectralapparat war ein gradsichtiger von Schmidt & Haensch gebauter. In der aus Figur 1 ersichtlichen Weise entwarfen die Linsen (Collimatorlinse L_1 und Objectivlinse L_2) nebst dem gradsichtigen Prisma *Pr* ein reelles Spectrum, aus dem der Ocularspalt *OS* einen Streifen ausschnitt. Das hinter *OS* gebrachte Auge sah

[1] Schenck hat, ähnlichen Ueberlegungen folgend, das, was wir Flimmerwerth nennen, als „Intermittenzhelligkeit" bezeichnet; ich ziehe vor, das Wort Helligkeit ganz zu vermeiden.

daher in der jetzt fast allgemein benutzten Weise die Fläche der Linse von einem homogenen Licht erleuchtet. Das Colli-



Figur 1. Schema der Versuchsanordnung.

matorrohr sammt Spalt und Triplexbrenner sind in der Weise beweglich, dafs das Spectrum über den Ocularspalt hingeführt werden, somit die sichtbar gemachte Wellenlänge variirt werden kann. Die Stellung des Collimatorrohres kann an einer Skala mit Nonius abgelesen werden, so dafs jedes gewünschte Licht leicht eingestellt werden kann. Auch hier geht natürlich der Benutzung des Apparats eine Graduirung in der Weise voraus, dafs an Stelle des Triplexbrenners eine mit Lithium, Natrium, Thallium oder Strontium leuchtend gemachte Bunsenflamme gebracht wird und man die Stellungen des Collimators ermittelt, bei denen die Metalllinien in der Mitte des Ocularspalts stehen. Auch ist der Abstand des Ocularspalts mit Sorgfalt so herzustellen, dafs die reellen Bilder der Linien genau in die Ebene des Spalts fallen.

Zur Ausführung der Flimmerbeobachtungen wurde nun vor der Objectivlinse eine Scheibe *Sch* aufgestellt, die in Rotation versetzt werden konnte und die in einer den Durchmesser der Linse noch etwas übertreffenden Zone 4 Ausschnitte von 45° besafs. Das weifse Licht, welches die Scheibe an ihrer dem Beobachter zugekehrten Seite reflectirte (weifses Cartonpapier im gewöhnlichen Tageslicht), wechselte demnach bei jeder Umdrehung vier Mal mit dem die Linsenfläche erleuchtenden homogenen Lichte ab. Selbstverständlich mufste dieser Lichtwechsel auf ein nicht zu grofses scharf begrenztes Feld beschränkt werden. Aus diesem Grunde wurde in kleinerem Abstand (ca. 5 cm) vom Ocularspalt nochmals ein weifses Cartonblatt aufgestellt, das mit einer Oeffnung von 2 mm Durchmesser versehen war (*D*). Die Ränder dieser Oeffnung erschienen scharf, nachdem dem Ocularspalt ein schwaches, als Lupe wirkendes Convexglas vorgesetzt war. Es wurde dadurch zugleich er-

reicht, dafs die Ränder der Ausschnitte an der rotirenden Scheibe nicht scharf gesehen wurden, was zur Vermeidung von manchen Fehlerquellen nützlich erschien. Es wäre vielleicht noch besser, wenn man statt einer sichtbaren über das Feld hinlaufenden Contur es einrichten könnte, dafs der Lichtwechsel im ganzen Felde gleichzeitig einträte; doch liefs sich dies mit unseren Hülfsmitteln nicht ausführen.

Die Scheibe wurde nun durch einen Elektromotor in eine passend schnelle Umdrehung versetzt. Der Beobachter hatte alsdann die Aufgabe, durch einen leicht zu handhabenden Schnurlauf die Weite des Collimatorspalts so zu reguliren, dafs das farbige Licht dem weifsen „flimmer-äquivalent" wurde. Damit dies möglich ist, darf selbstverständlich die Geschwindigkeit der Rotation weder zu grofs noch zu klein sein. Ist sie zu klein, so hört bei keiner Einstellung das Flimmern auf; ist sie zu grofs, so verschwindet das Flimmern innerhalb eines mehr oder weniger grofsen Spielraums der Spaltweiten. Die anfängliche Befürchtung, dafs die Beobachtungen hierdurch sehr difficil werden würden, bestätigte sich indessen nicht. Selbstverständlich ist es zwar am günstigsten, wenn die Geschwindigkeit so regulirt ist, dafs das Flimmern gerade bei einer bestimmten Spaltweite aufhört; indessen gelingt die Einstellung überraschend gut auch bei etwas geringerer Geschwindigkeit, indem man auf das Minimum des Flimmerns einstellt, kaum minder gut auch bei einer etwas gröfseren, indem man die Mitte der beiden Stellungen sucht, wo bei Erweiterung und bei Verengerung des Spalts das Flimmern sichtbar wird. Selbstverständlich darf in beiden Beziehungen nicht sehr weit gegangen werden. Doch beruht es hierauf, dafs, nachdem dem Motor einmal die passende Geschwindigkeit gegeben war, die Untersuchung des Spectrums (soweit sie überhaupt erstreckt werden sollte) meist ohne Veränderung derselben durchgeführt werden konnte. Hierfür kam dann auch noch ein anderer Punkt in Betracht, der hier hervorgehoben werden mufs. Während in den meisten älteren Beobachtungen dasjenige Grau aufgesucht wird, welches einem gegebenen farbigen Licht flimmeräquivalent ist, bleibt hier das weifse Licht unverändert und es wird dem farbigen Licht diejenige Stärke gegeben, bei welcher es dem weifsen flimmer-äquivalent ist. Für die einzelne Vergleichung dürfte dies ohne Belang sein; denn die Flimmeräquivalenz wird sich wohl ohne Zweifel ganz überein-

stimmend darin bemerklich machen, dafs die Empfindung unstetig wird, wenn wir bei constantem farbigem Licht das weifse heller oder dunkler machen oder aber, wenn wir bei constantem Weifs das farbige vermehren oder vermindern. Dagegen ist zu beachten, dafs hier die Bestimmung aller farbigen Lichter durch Vergleichung mit demselben Weifs stattfindet.

Bezüglich der Ausführung der Versuche ist noch zu erwähnen, dafs auch hier ein Theil der Vorsichtsmaafsregeln zu beobachten war, die v. Kries in seiner Arbeit über die Netzhautperipherie geschildert hat. Namentlich konnte, da auch hier das Tageslicht dasjenige war, mit dem alle Anderen verglichen wurden, nicht gearbeitet werden, wenn dieses schnell und unregelmäfsig wechselte. Und auch wenn dies nicht der Fall war, empfahl es sich in der dort angegebenen Weise vorzugehen: es wurde also stets der Flimmerwerth des Natriumlichtes, 589 $\mu\mu$ bestimmt, dann der eines oder zweier anderer Lichter, sodann wieder der des Na-Lichtes; jede Bestimmung umfafste dabei immer 6 Einstellungen. Schliefslich wurde dann das Ergebnifs für ein einzelnes Licht verglichen mit dem arithmetischen Mittel der vorher und der nachher gemachten Bestimmung des Na-Lichts und man erhielt so den Flimmerwerth des einzelnen Lichts im Verhältnifs zu dem des Na-Lichts. In den nachfolgenden Tabellen sind die Werthe stets so angegeben, dafs der des Na-Lichts = 100 gesetzt ist.

Die nachfolgende Tabelle enthält nun die Ergebnisse einer gröfseren Zahl derartiger Beobachtungsreihen. Die erste Zeile enthält die Bezeichnung des Lichts und zwar doppelt, nämlich erstens den spectralen Ort, von demjenigen des Na-Lichts an gerechnet, in Theilstrichen der oben erwähnten Skala, sodann in Wellenlängen. Die folgenden Reihen führen den für diese Lichter ermittelten Flimmerwerth und zwar so, dafs in jeder Horizontalcolonne die Resultate einer Versuchsreihe enthalten sind. Die letzte Reihe, mit *M* bezeichnet, giebt das Mittel aller Reihen.

Die Ergebnisse lassen erkennen, wie hier gleich von vornherein bemerkt sei, dafs eine gewisse Abhängigkeit von den jeweils benutzten Helligkeiten zu Tage tritt. Ich habe, um dies ersichtlich zu machen, im letzten Stabe der Tabellen die in jeder Reihe benutzte Weite des Natriumspalts hinzugefügt. Man wird bemerken, dafs in der That die gefundene relative Helligkeit mancher Lichter in deutlicher Correspondenz mit diesen Weiten

Tabelle I. Flimmerwerthe (POLIMANTI).

Na − 2,5 687 μμ	Na − 2 664 μμ	Na − 1,5 642 μμ	Na − 1 624 μμ	Na − 0,5 606 μμ	Na 588 μμ	Na + 1 565 μμ	Na + 2 543 μμ	Na + 3 526 μμ	Na + 4 509 μμ	Breite der Na-Spalte
	36,13		86,38		100	86,37	40,94	19,04		38,57
	28,20		80,79		100	79,67	36,64	17,05		28,76
		57,79	69,13	88,28	100	81,37	51,27	27,29		32,79
		69,39	80,77	92,68	100	86,41	52,38	24,26		46,23
		60,09	76,10	89,80	100	86,96	46,66	26,06		40,16
		38,42	54,51	78,07	100	75,48	45,79	22,50		17,11
		57,23	78,49	90,66	100	85,68	62,80	37,61		39,38
	30,4				100					26,14
	30,6				100					26,14
	31,1				100					26,23
	30,5				100					26,23
	32,0				100					27,46
	31,7				100					27,46
27,1					100				21,7	26,54
27,8					100				21,5	26,46
27,1					100				21,0	26,83
29,2					100				22,4	27,77
29,4					100				22,8	28,12
29,0					100				22,2	27,38
M. 28,26	31,20	56,58	35,17	87,89	100	83,13	48,06	25,01	21,93	

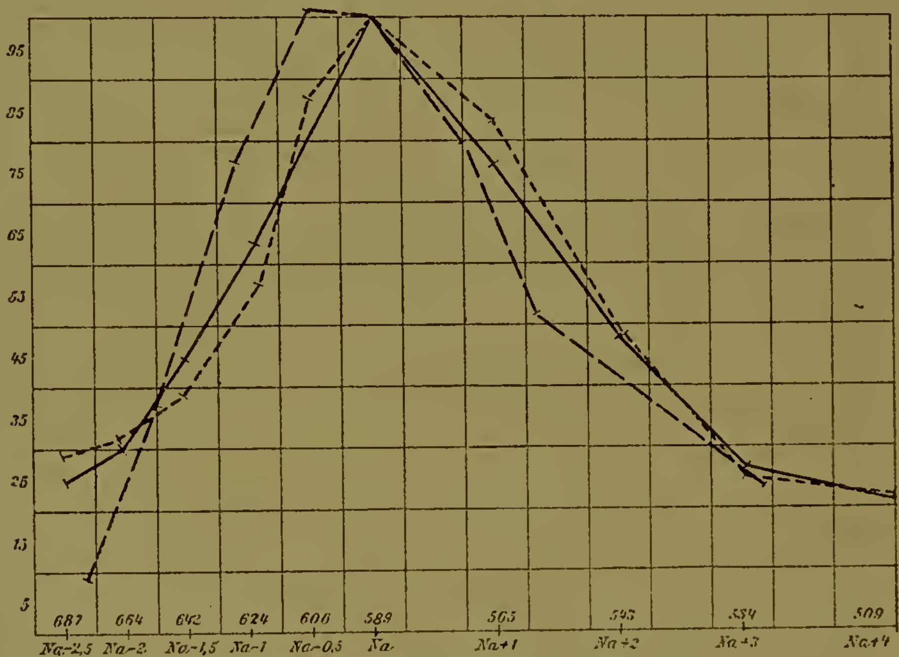
wechselt. Dies rührt daher, dafs die Spaltweiten, namentlich in den lichtschwächeren Theilen des Spectrums, wohl öfters über diejenigen Grenzen hinausgingen, welche eigentlich, um hinlänglich homogenes Licht zu haben, nicht hätten überschritten werden sollen. Ich bin leider auf diesen Umstand zu spät aufmerksam geworden, hätte ihm übrigens bei den zur Verfügung stehenden Lichtstärke- und Dispersionsverhältnissen kaum abhelfen können. Bei der Häufung einer gröfseren Zahl von Reihen dürften sich die Fehler auch insoweit ausgeglichen haben, dafs eine Beurtheilung in Bezug auf die hauptsächlich interessirenden Punkte mit genügender Sicherheit stattfinden kann.

Die Tabelle läfst, im Hinblick auf bekannte Thatsachen, zweierlei erkennen, nämlich erstens, dafs die Vertheilung der Flimmerwerthe nicht übereinstimmt mit derjenigen der Dämmerungswerthe, zweitens, dafs sie wenigstens annähernd übereinkommt mit derjenigen der Peripheriehelligkeiten, wie sie v. Kries ermittelt hat. Ersteres ist auch von Schenck bereits gefunden und angegeben worden. Er zeigt, dafs die nach der Flimmermethode gemessenen Helligkeiten farbiger Papiere nicht übereinstimmen mit deren Weifsvalenzen, wenn man diese in der von Hering und Hillebrand angegebenen Weise durch Beobachtung des dunkeladaptirten Auges in schwachem Licht ermittelt. Hier zeigt sich der Unterschied überaus deutlich; die Dämmerungswerthe haben ihr Maximum bei etwa 540 $\mu\mu$, die Flimmerwerthe bei 589 oder vielleicht noch etwas gröfserer Wellenlänge. Ueber die gänzliche Verschiedenheit der einen und anderen Function kann also kein Zweifel bestehen. Was dagegen den zweiten Punkt anlangt, so erschien eine genauere Untersuchung geboten, theils weil die bis jetzt vorliegenden Beobachtungen über die Peripheriehelligkeiten in dem Sinne, wie v. Kries diesen Ausdruck gebraucht, noch wenig zahlreich sind, theils weil sie sich auf ein etwas abweichendes Spectrum, das von einem Wernicke'schen Flüssigkeitsprisma gelieferte, beziehen. Am besten war es bei dieser Sachlage natürlich, direct meinerseits bei der für die Flimmermethode benutzten Aufstellung zu einer Bestimmung der Peripheriewerthe zu schreiten. Dies habe ich denn auch gethan. Es war zu diesem Ende nur erforderlich, sowohl die Scheibe wie das Diaphragma (*Sch* und *D* Fig. 1) zu entfernen und statt dessen unmittelbar vor der Linse einen weifsen Schirm mit einer Oeffnung (5,5 mm Durchmesser)

Tabelle II. Peripheriewerthe (Polimanti).

Na — 2,5 687 μμ	Na — 2 664 μμ	Na — 1,5 642 μμ	Na — 1 624 μμ	Na — 0,5 606 μμ	Na 589 μμ	Na + 1 565 μμ	Na + 2 543 μμ	Na + 3 526 μμ	Na + 4 509 μμ	Breite der Na-Spalte
		37,84	57,99	82,25	100	60,27	36,71	28,89		15,28
		42,95	56,42	78,40	100	78,41	39,58	20,54		12,01
		44,03	60,25	78,84	100	67,24	41,12	18,62		11,78
		52,36	71,24	86,83	100	84,04	58,45	30,39	21,77	20,72
		43,93	62,54	79,79	100	76,01	47,65	23,25	13,49	13,74
		55,02	71,11	83,74	100	80,93	63,72	37,58	28,77	26,95
		46,49	66,50	85,77	100	71,26	47,60	26,24		16,83
25,0	29,6				100					28,16
23,4	29,1				100					27,85
24,5	30,0				100				21,1	28,07
23,8	29,6				100				22,3	27,64
23,1	29,1				100				21,8	27,34
24,4	30,3				100				20,2	26,57
25,4	30,1				100				21,0	27,86
26,1	31,7				100				21,2	27,86
26,1	31,8				100				21,7	28,04
26,6	32,1				100				21,4	28,15
M. 24,84	30,34	46,08	63,72	82,23		74,02	47,83	26,50	21,3	

anzubringen. Der Ocularspalt war ohnehin bereits in einem Blechtäfelchen angebracht, welches so geformt war, dafs man an seinem Rande vorbeisehen und den mit homogenem Licht erleuchteten Fleck inmitten der weifsen Umgebung am Rande des nasalen Gesichtsfeldes beobachten konnte. Die Bestimmungen wurden im Uebrigen ganz in der von Kries angegebenen Weise ausgeführt, mit dem einzigen Unterschiede, dafs die benutzten homogenen Lichter hier dieselben wie die bei den Flimmerbeobachtungen verwendeten waren. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen stellt die Tabelle II zusammen und zwar entspricht wiederum jede eingetragene Zahl dem Mittelwerth von 6 einzelnen Einstellungen. Die letzte Zeile enthält das Gesammtmittel. Um das Verhältnifs der verschiedenen Beobachtungen ersichtlich zu machen, sind in Fig. 2 dargestellt 1. die von mir bestimmten Peripheriewerthe, 2. die von mir gefundenen Flimmerwerthe (in



Figur 2.

Flimmerwerthe Polimanti - - - - - - - - - -, Peripheriewerthe Polimanti ————————, und Peripheriewerthe v. Kries — — — — — —, im Dispersionsspectrum des Gaslichtes.

beiden Fällen enthält natürlich die Figur die Gesammtmittel) und 3. die von v. Kries gefundenen Peripheriewerthe. Man erkennt, dafs die Curve, die die für mich geltenden Peripheriewerthe darstellt, nahezu, jedoch nicht ganz genau mit der der

Kries'schen Bestimmungen zusammenfällt; die meinige ist ein wenig nach rechts verschoben.[1] Bedenkt man, dafs die Gestaltung der Curven in hohem Maafse von der Adaptation abhängig ist und dafs man sich durch starke Helladaptation einem gewissen Extrem voraussichtlich wohl sehr annähern kann, ohne es jedoch eigentlich mit Sicherheit und in aller Strenge erreichen zu können, so wird die Differenz nicht auffallen können. Ferner sieht man, dafs die Curve der Flimmerwerthe jedenfalls annähernd mit den beiden Curven der Peripheriewerthe zusammenfällt. Ich kann hinzufügen, dafs das Gleiche sich auch für noch etwas kleinere Wellenlängen bestätigen läfst. Zwar konnten die Versuche mit dem Triplexbrenner nicht wohl weiter fortgesetzt werden als bis zur Wellenlänge 509 $\mu\mu$; ich habe aus diesem Grunde noch eine Anzahl von Beobachtungen mit Auer-Licht ausgeführt und bei diesem Flimmerwerthe und Peripheriehelligkeiten der Lichter 495 und 481 $\mu\mu$ im Vergleich zum Na-Licht bestimmt. Die Ergebnisse enthalten die folgenden Tabellen 3 und 4.

Tabelle III.
Flimmerwerthe (Polimanti).
Auer-Licht

Na + 5 495 $\mu\mu$	Na + 6 481 $\mu\mu$
9,82	9,34
14,28	12,07
10,21	9,69
10,60	10,05
11,23	10,28

Tabelle IV.
Periperiewerthe (Polimanti).
Auer-Licht.

Na + 5 495 $\mu\mu$	Na + 6 481 $\mu\mu$
15,27	14,55
11,55	9,57
14,34	11,18
14,27	11,17
14,49	11,37
13,98	11,56

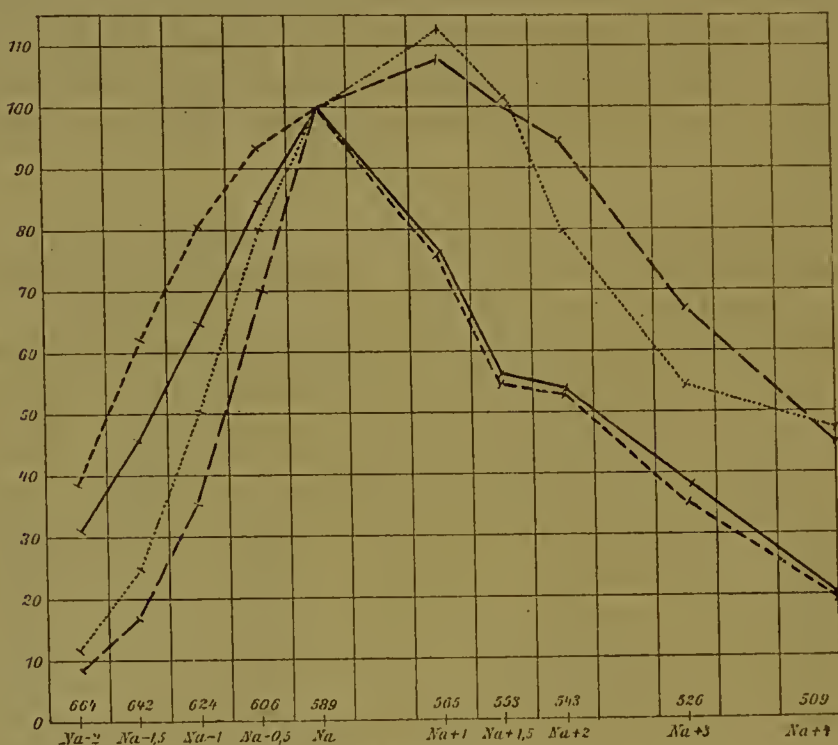
Läfst sich im Ganzen auch nicht verkennen, dafs sowohl die Peripheriewerthe wie auch namentlich die Flimmerwerthe nur mit einer mäfsigen Genauigkeit bestimmt werden können, so halte ich mich doch für berechtigt, den Satz aufzustellen,

[1] Die starke Differenz im äufsersten Roth dürfte wohl auf dem oben erwähnten Umstande beruhe, dafs ich hier zu grofse Spaltweiten benutzen müfste.

dafs Flimmerwerthe und Peripheriewerthe im Spectrum nahezu gleich vertheilt, dafs beide jedenfalls annähernd dieselbe Function der Wellenlänge sind.

Die dankenswerthe Mitwirkung zweier Dichromaten, und zwar eines Protanopen (Dr. M. Marx) und eines Deuteranopen (Dr. W. Nagel) hat mir ermöglicht, die gleichen Untersuchungen auch auf diese Sehorgane auszudehnen.

Hinsichtlich des Protanopen ist bereits bekannt, dafs für ihn die Vertheilung der Peripheriewerthe eine sehr andere als für den Trichromaten ist. Es läfst sich leicht zeigen, dafs die geringe Empfindlichkeit für langwelliges Licht sich in der Gestaltung der den Flimmerwerth darstellenden Curven ebenfalls ausprägt. In Fig. 3 stellen die vier Linien die Vertheilung der



Figur 3.

Flimmerwerthe Polimanti - - - - - - - - - -, Peripheriewerthe Polimanti ———————,
Flimmerwerthe Marx ··················· u. Peripheriewerthe Marx — — — — —,
im Dispersionsspectrum des Gaslichtes.

Flimmerwerthe und der Peripheriewerthe für Marx und mich dar.[1] Es ist wohl berechtigt danach zu sagen, dafs auch hier

[1] Ich habe hier für mich nicht die oben bereits dargestellten, sondern neue Versuche zu Grunde gelegt, die fortlaufend alternirend mit den Marx'schen ausgeführt wurden. Mir schien dies wünschenswerth, um den

eine annähernde Uebereinstimmung der beiden Functionen heraustritt. Die Zahlenangaben enthält in gleicher Anordnung wie oben Tab. V.

Tabelle V.

Peripherie- und Flimmerwerthe von Marx (Protanop) und Polimanti.

Na — 2 664 μμ	Na — 1,5 642 μμ	Na — 1 624 μμ	Na — 0,5 606 μμ	Na 589 μμ	Na + 1 565 μμ	Na + 1,5	Na + 2 543 μμ	Na + 3 526 μμ	Na-Spalte
				Peripheriewerthe (Marx).					
	12,4		55,4	100	122,1		94,0	42,4	19,5
7,9	18,8	34,4	56,6	100	118,7		117,0	83,4	8,4
	17,3	39,0	85,6	100	79,9		78,5	41,0	22,3
8,3	15,5	33,0	86,1	100	104,3		101,5	60,9	16,0
		27,2	58,0	100	86,5		82,6	48,3	25,4
	23,4	46,9	81,7	100	111,9		105,7	76,1	21,9
				100	116,0	99,0	91,7	65,6	28,3
				100			94,6	66,7	
				100	105,9		77,7	73,1	} 30,9
	16,1	34,6	62,2	100	106,0		79,0	71,4	}
8,1	17,0	35,8	69,4	100	106,5	99,0	92,2	62,8	24,2
				Flimmerwerthe (Marx).					
	33,3	56,0	76,5	100	113,9		89,6	49,8	14,3
11,4	17,9	49,1	77,2	100	113,7		77,6	54,5	25,8
10,5	19,9	51,3	85,5	100	112,0		77,5	50,4	21,2
10,3	23,0	50,2	81,1	100	107,7		79,6	47,8	21,1
9,4	22,0	54,3	77,7	100	109,5		74,2	50,0	22,2
	20,2	43,5	73,1	100	107,0		77,6	52,1	33,0
15,1	28,6	49,9	85,4	100	122,9		82,3	61,7	16,3
13,5	21,6	48,5		100			78,0	47,2	19,4
				100	116,9	91,3	87,2	60,0	} 10,4
				100	107,4	109,3	75,2	56,9	}
				100			73,2	53,5	
11,7	23,3	50,3	79,5	100	112,3	100,3	79,3	53,0	20,4

Unterschied der beiden Sehorgane ganz einwurfsfrei hervortreten zu lassen. Ebenso verfuhr ich bei dem Vergleich mit Nagel.

Peripheriewerthe (Polimanti).

Na — 2 664 μμ	Na — 1,5 642 μμ	Na — 1 624 μμ	Na — 0,5 606 μμ	Na 589 μμ	Na + 1 565 μμ	Na + 1,5	Na + 2 543 μμ	Na + 3 526 μμ	Na-Spalte
	32,4	46,1	66,7	100	77,3		50,3	29,5	9,6
21,7	32,4	51,6	71,8	100	87,3		71,8	45,0	7,0
	48,7	67,0	86,5	100	66,5		53,8	31,5	13,8
39,0	50,9	61,7	88,5	100	85,5		63,7	48,1	14,9
		71,9	86,9	100	83,1		50,2	38,3	15,9
	62,7	83,1	100,4	100	72,3		55,3	44,6	16,7
				100	73,0	55,5	47,3	32,7	} 20,0
				100		53,0	46,5	27,5	
				100	74,9	50,3	48,2	36,8	} 20,1
				100	71,4	66,0	47,3	29,9	
30,3	45,4	63,5	83,4	100	76,8	56,2	53,4	36,3	14,7

Flimmerwerthe (Polimanti).

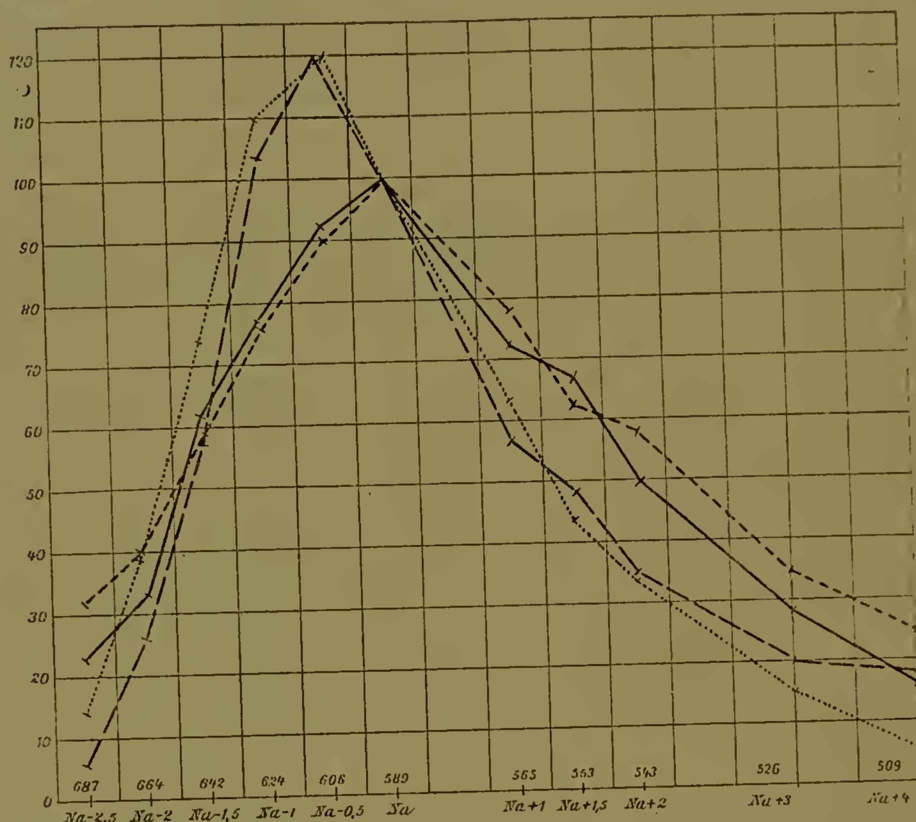
Na — 2 664 μμ	Na — 1,5 642 μμ	Na — 1 624 μμ	Na — 0,5 606 μμ	Na 589 μμ	Na + 1 565 μμ	Na + 1,5	Na + 2 543 μμ	Na + 3 526 μμ	Na-Spalte
	56,4	76,1	87,9	100	80,4		51,4	37,3	18,4
41,8	66,0	81,7	94,7	100	82,5		59,4	35,8	25,8
41,0	58,9	76,8	93,8	100	64,5		52,0	27,2	18,9
34,7	60,3	83,8	92,7	100	73 7		53,7	32,0	19,0
35,8	60,5	82,7	93,9	100	79,6		49,3	29,8	18,3
	66,7	82,3	94,1	100	81,6		66,4	45,7	35,4
				100	80,1	58,5	45,9	28,7	8,2
				100	69,9	51,5	39,1	29,0	9,3
				100		53,4	30,6		9,2
38,3	61,4	80,5	92,8	100	76,5	55,0	52,2	32,9	18,0

Der Vergleich mit den Beobachtungen des Deuteranopen zeigt Aehnliches. Die Ergebnisse sind in den Tabellen VI und in Fig. 4 niedergelegt. Die Unterschiede sind hier zwar geringer, aber immerhin deutlich. In der Beurtheilung dieser Verhältnisse macht sich nun aber eine gewisse Schwierigkeit geltend. Es zeigt sich, wie gesagt, hier, dafs die Nagel'schen Peripherie-

Tabelle VI. Flimmer- und Peripheriewerthe für NAGEL (Deuteranop) und POLIMANTI.

Na — 2,5	Na — 2 664 μμ	Na — 1,5 642 μμ	Na — 1 624 μμ	Na — 0,5 606 μμ	Na 589 μμ	Na + 1 565 μμ	Na + 1,5 553 μμ	Na + 2 543 μμ	Na + 3 526 μμ	Na-Spalte
Peripheriewerthe (NAGEL).										
6,0	19,3	45,9	99,6	103,1	100	51,9	38,9	25,9	18,0	} 16,2
	34,5	69,4	105,7	137,8	100	63,5	58,3	43,7	22,1	
6,0	26,6	57,6	102,6	120,4		57,7	48,6	34,8	20,0	16,2
Flimmerwerthe (NAGEL).										
	44,1	83,8	101,1	131,5	100	63,6	43,1	35,4	18,4	18,57
12,0	36,7	68,7	117,4	107,4	100	62,4		29,1	11,7	30,09
14,7	39,2	67,6			100				20,8	14,85
13,3	40,0	73,3	109,2	119,4	100	63,0	43,1	32,2	15,0	19,5
Peripheriewerthe (POLIMANTI).										
17,9	31,6	58,5	76,2	100,6	100	70,5	62,7	49,7	26,1	} 22,8
27,8	35,4	67,0	79,5	84,3	100	74,8	70,0	51,2	31,4	
22,6	33,5	62,7	77,8	92,4	100	72,6	66,3	50,4	28,7	22,8
Flimmerwerthe (POLIMANTI).										
	39,1	62,1	74,1	96,1	100	76,9	62,5	51,7	28,1	22,63
38,8	42,7	59,3	81,4	88,7	100					
34,6	42,4	58,7	74,1	86,3	100	78,8		64,9	42,3	33,89
21,6	39,3	53,8			100					23,03
31,6	40,8	58,4	76,5	90.3	100	77,8	62,5	58,3	35,2	25,6

und Flimmerwerthe sich von den meinigen deutlich unterscheiden. v. Kries fand den Unterschied seiner Peripheriewerte von den



Figur 4.

Flimmerwerthe Polimanti - - - - - - - - - -, Peripheriewerthe Polimanti ————————, Flimmerwerthe Nagel ······················, Peripheriewerthe Nagel — — — — — —, im Dispersionsspectrum des Gaslichtes.

Nagel'schen so geringfügig, dafs über seine reale Existenz sogar Zweifel entstehen konnten. Es ergiebt sich aus dem Vergleich beider Thatsachen, dafs, wie ja auch oben schon angeführt wurde, zwischen meinen Peripheriewerthen und den von Kries für sein Auge gefundenen ein merklicher Unterschied stattfindet. Für ihn lag das Maximum des Peripheriewerths, ähnlich wie für Nagel noch etwas rothwärts von der Na-Linie, für mich war dies nicht festzustellen. Die Differenz konnte darauf hindeuten, dafs ich für die Peripherie-Untersuchungen keine so vollkommene Helladaptation bewirken konnte. Nimmt man aber dies an, so erscheint wieder die sehr gute Uebereinstimmung der Peripheriewerthe mit den (central bestimmten) Flimmerwerthen unverständlich. Eine sichere Beurtheilung der Frage, wie das Verhältnifs des Deuteranopen zum Trichromaten aufzufassen ist, wird daher erst möglich sein, wenn wir die unter den Trichro-

maten anzutreffenden kleinen Unterschiede bezüglich der Peripherie- und Flimmerwerthe mit gröfserer Sicherheit, als jetzt, beurtheilen können.

Obgleich eine Ermittelung derjenigen Frequenz der Lichtwechsel, die zur Erzeugung einer continuirlichen Empfindung erforderlich ist, nicht eigentlich im Plane meiner Arbeit lag, so habe ich doch auch in dieser Richtung eine Anzahl von Beobachtungen angestellt. Es wurde hierbei etwa so zu Werke gegangen, wie es auch Schenck gethan hat, so nämlich, dafs den rotirenden Scheiben für einige Zeit diejenige Geschwindigkeit gegeben wurde, die für das Aufhören des Flimmerns gerade ausreichend ist. Dies kann freilich nur so geschehen, dafs man die Geschwindigkeit abwechselnd ein wenig steigert und dann wieder vermindert, bis das Flimmern aufhört resp. wieder bemerkbar wird. Bei einiger Uebung gelingt es aber, mit relativ geringen Schwankungen sich auf diese Weise stets ganz nahe an dem eigentlichen Grenzwerth zu halten. Regulirt man den Elektromotor so, dafs er bei dauerndem Stromschlufs eine überschüssig grofse Geschwindigkeit unterhält, so gelingt es recht gut, jenes Ergebnifs durch abwechselndes Oeffnen und Schliefsen des treibenden Stromes zu erzielen; die Geschwindigkeit mufs bei Stromschlufs langsam zunehmen; sobald das Flimmern aufgehört hat, wird der Strom geöffnet, die Geschwindigkeit nimmt allmählich ab, und man schliefst den Strom wieder, sobald das Flimmern bemerkbar wird. Eine an dem Kreisel angebrachte Unterbrechungsvorrichtung zeichnete mit Hülfe eines Registrirmagneten die Umdrehungen auf eine Baltzar'sche Trommel auf; so konnte der Mittelwerth der in obiger Weise normirten Geschwindigkeit hinterher leicht festgestellt werden.

Die Versuche, die ich in dieser Weise angestellt habe, lieferten in mancher Hinsicht überraschende Ergebnisse. Ich wünschte zunächst zu erfahren, ob, wenn man ein weifses Licht mit verschiedenen farbigen, die aber immer in flimmer-äquivalenter Stärke genommen sind, intermittiren läfst, alsdann für alle Farben die gleichen Intermittenz-Zahlen gefunden werden oder ob sich eine deutliche Abhängigkeit von der Wellenlänge des betr. homogenen Lichtes bemerklich macht. Als Ergebnifs zweier Versuchsreihen führe ich die folgenden Zahlen an:

Tabelle VII.

Zahl der für continuirliche Empfindung erforderlichen Lichtwechsel pro Secunde bei wechselnder Einwirkung von Weifs und flimmeräquivalenten homogenen Lichtern.

— 2,5	— 2	— 1,5	— 1	— 0,5	Na	+ 1	+ 2	+ 3
33,9	35,0	34,9	35,0	37,2	38,8	37,2	38,3	36,9
34,4	33,6	36,1	34,8	42,0	40,3	34,2	32,4	37,0

Sie lassen, wie mir scheint, keinen sicheren Schlufs auf eine Abhängigkeit dieser Intermittenzzahlen von der Wellenlänge zu. Ueberraschend war mir aber besonders der verhältnifsmäfsig hohe Werth dieser Zahlen überhaupt. Nimmt man an, dafs in den beiden hier abwechselnden Lichtern derjenige Reizwerth, dessen Wechsel vorzugsweise prompt empfunden werden, gleich gemacht ist, das Flimmern also nur durch die wechselnde Einwirkung auf andere, trägere Theile, bewirkt wird, so hätte man erwarten dürfen, dafs zur Beseitigung dieses Flimmerns nun relativ langsame Oscillationen der Reize ausreichen würden. Es zeigt sich, dafs dies nicht der Fall ist, womit sich dann sogleich eine allgemeinere auf die ganze Methode bezügliche Frage erhebt. Die Ermittelung von Flimmerwerthen beruht darauf, dafs beim Wechsel zweier Lichter, die flimmeräquivalent sind, geringere Intermittenzzahlen, weniger häufige Wechsel erforderlich sind, als wenn die Lichter nicht in jenem Verhältnifs stehen. Für die Beurtheilung der ganzen Methode erschien es von Interesse, zu erfahren, wie grofs etwa diese Unterschiede sind.

Auch hier war nun das Ergebnifs insofern ein überraschendes, als diese Differenzen sich so gering herausstellten, dafs sie über die Grenzen der der einzelnen Bestimmung anhaftenden Unsicherheit nur wenig hinausgehen. Als Beleg hierfür stelle ich die eben angeführten Zahlen zusammen mit anderen, bei welchen die verschiedenen homogenen Lichter nicht mit dem flimmeräquivalenten Weifs sondern mit Schwarz wechselten, indem auf den Kreisel eine mit schwarzem Tuchpapier überzogene Scheibe aufgesetzt war.

Tabelle VIII.

Zahl der für continuirliche Empfindung erforderlichen Lichtwechsel pro Secunde: 1. bei Wechsel der homogenen Lichter mit flimmeräquivalentem Weifs; 2. bei Wechsel der homogenen Lichter mit Schwarz.

	− 2,5	− 2,0	− 1,5	− 1	− 0,5	Na	+ 1	+ 2	+ 3
Wechsel mit Weifs	33,9	35,0	34,9	35,0	37,2	38,8	37,2	38,3	36,9
Wechsel mit Schwarz	36,3	36,0	37,0	36,4	40,0	40,5	39,1	37,6	38,0
Wechsel mit Weifs	34,4	33,6	36,1	34,8	42,0	40,3	34,2	32,4	37,0
Wechsel mit Schwarz	37,0	34,3	38,3	38,8	41,0	40,3	40,0	37,0	39,3

Die Unterschiede sind, wie man sieht, durchweg sehr gering.[1] Es ist also jedenfalls merkwürdig, dafs, wenn man die Intensität des homogenen Lichts ändert, mag man sie gröfser oder kleiner machen, das bei der Aequivalenz unbemerkbare Flimmern so deutlich zur Erscheinung kommt, dann aber doch eine relativ geringfügige Steigerung der Geschwindigkeit ausreicht um die Empfindung wieder stetig zu machen.

Etwas einigermaafsen Aehnliches trat mir auch bei einer anderen Beobachtung entgegen und erwies sich auch hier als Hindernifs für die messende Verfolgung der Erscheinung. Die Flimmerbeobachtungen wurden, wie erwähnt, immer so ausgeführt, dafs das betr. Feld wenigstens annähernd fixirt wurde. Es war stets leicht zu bemerken, dafs bei einer Geschwindigkeit, die ausreichte, um central das Flimmern aufhören zu lassen, dieses wieder deutlich sichtbar wurde, wenn bei veränderter Augenstellung das Feld in mäfsiger Excentricität gesehen wurde. Eine genauere Untersuchung des Phänomens, das in mancher Richtung von Interesse ist, mufste zunächst darauf ausgehen, in der oben erwähnten Weise und unter ganz gleichen Bedingungen einmal für centrale Fixation, sodann für eine gewisse Excentricität die zum Verschwinden des Flimmerns gerade hinreichenden Geschwindigkeiten aufzusuchen. Das (in diesem Falle auf etwa

[1] Da ich irgend welche Fehlerquellen fürchtete, so habe ich auch Versuche in der Art angestellt, dafs das Licht der weifsen rotirenden Scheibe einmal mit einem flimmeräquivalenten homogenen, sodann, indem der Spalt des Spectralapparats ganz geschlossen wurde, mit Schwarz wechselte. Auch so erhielt ich nur geringe Differenzen der Intermittenzzahlen.

Tabelle IX. Intermittenzzahlen bei centraler und peripherer Beobachtung.

Sehen	Na — 2,5 687 μμ	Na — 2 664 μμ	Na — 1,5 642 μμ	Na — 1 624 μμ	Na — 0,5 606 μμ	Na 589 μμ	Na + 1 565 μμ	Na + 2 543 μμ	Na + 3 526 μμ	Na + 4 509 μμ
C.	*41,5	41,0	45,6	42,7	44,0	45,1	44,5	41,6	41,5	38,5
P.	38,7	41,2	42,3	45,7	47,6	47,2	46,7	45,5	45,5	41,8
D.	— 0,28	— 0,2	— 3,3	+ 3	+ 3,6	+ 2,1	+ 2,2	+ 3,9	+ 4	+ 3,3
C.	43,7	43,2	44,2	42,6	44,5	43,0	45,0	48,5	44,0	43,1
P.	43,3	44,5	44,5	41,8	45,6	47,0	49,4	50,2	47,7	45,9
D.	— 0,4	+ 1,3	+ 0,3	— 0,8	+ 1,1	+ 4	+ 4,4	+ 1,7	+ 3,7	+ 2,8
C.	44,9	44,2	42,5	45,2	47,3	47,5	45,7	43,3	45,1	43,7
P.	45,4	43,1	44,1	45,3	47,5	48,1	49,5	46,5	46,2	45,8
D.	+ 0,5	— 1,1	+ 1,6	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,6	+ 3,8	+ 3,2	+ 1,1	+ 2,1
C.	43,8	45	43,4	45,6	45,8	46,1	44,5	44,4	46,6	46,1
P.	44,4	44,3	43,6	44,5	50,5	53,3	51,7	50,5	53,0	51,5
D.	+ 0,6	— 0,7	+ 0,2	— 1,1	+ 4,7	+ 7,2	+ 7,2	+ 6,1	+ 6,4	+ 5,4

* Je 5 Versuche.

4,5° Durchmesser vergröfserte) Feld wurde einmal annähernd central fixirt; in den anderen Versuchen war das Auge auf ein von der Mitte des Feldes etwa 15° entfernte Fixationsmarke gerichtet. Die nebenstehende Tabelle IX zeigt eine Anzahl in dieser Art ausgeführter Versuche, bei denen verschiedene homogene Lichter in etwa flimmeräquivalenten Stärken, mit Weifs abwechselnd, einwirkten. In der Tabelle bedeutet C. central und P. Peripherie, D. die Differenz und zwar mit positivem Vorzeichen, wenn bei peripherer Beobachtung die gröfsere Intermittenzzahl gefunden wurde. Die Differenzen sind, wie man sieht, nirgends sehr grofs, aber mit ganz wenigen Ausnahmen doch stets positiv. Dafs also der untersuchte excentrische Netzhauttheil eine etwas gröfsere Empfindlichkeit gegen die Lichtoscillationen besitzt, stellt sich, wie beim directen Vergleich, so auch hier heraus. Abgesehen hiervon scheinen die Versuche noch zu ergeben, dafs diese Differenz mit abnehmender Wellenlänge deutlicher hervortritt, richtiger gesagt erst vom Na-Licht ab sicher zu constatiren ist, während sie in den langwelligen Lichtern noch ganz in die Fehlergrenzen fällt. Unzweifelhaft knüpfen sich an dieses Ergebnifs allerhand Fragen, die theoretisch nicht ohne Bedeutung wären, doch scheint die Behandlung derselben zunächst nicht sehr aussichtsreich, weil die Differenzen, die sich herausstellen, im Vergleich zu der Unsicherheit der Bestimmung gering sind, so dafs sie immer erst in den Durchschnittszahlen gehäufter Versuche hervortreten. Ich habe daher von weiterer Verfolgung des Gegenstandes einstweilen abgesehen.

Zur Kenntnifs der nachlaufenden Bilder.

Von

A. Samojloff,

Privatdocent an der Universität Moskau.

(Mit 3 Fig.)

Im Sommer 1898 wurde ich im Freiburger Physiologischen Institut mit den Erscheinungen bekannt, die Prof. v. Kries in seiner Arbeit über die Wirkung kurz dauernder Lichtreize auf das Sehorgan [1] beschrieben hat. Nur über einen Theil dieser Erscheinungen besteht eine genügende Uebereinstimmung aller Autoren, die sich mit dem Gegenstand beschäftigt haben; in wichtigen Beziehungen dagegen sind namentlich die von Kries gemachten Angaben neuerdings von Hess [2] bestritten worden. Ich folgte daher gern dem Vorschlage des Herrn Prof. v. Kries, einige Versuche in dieser Richtung anzustellen und dabei mein Augenmerk auf die zwischen ihm und H. controvers gebliebenen Punkte zu richten. Es sind dies hauptsächlich zwei; erstens beschreibt v. Kr. das nachlaufende Bild als ein in der Regel schwach complementär gefärbtes, während es nach Hess dem primären Bild gleichfarbig sein soll; zweitens soll nach Kr. die Erscheinung an der Stelle des deutlichsten Sehens fehlen, so dafs bei bewegtem Object das nachlaufende Bild einen mäfsig grofsen centralen Bezirk zu überspringen scheint, bei kurz dauernder Belichtung der periphere Reiz eine in zwei Theile auseinanderfallende („doppelschlägige") Empfindung, der centrale dagegen nur eine einfache liefern soll; dieser Unterschied des centralen und peripheren Bezirks wird von Hess überhaupt geleugnet und die betr. Angabe auf gewisse Täuschungen und Beobachtungsfehler zurückgeführt.

---

[1] *Zeitschr. f. Psychol.* XII, S. 81.

[2] Hess, Experimentelle Untersuchungen über die Nachbilder bewegter leuchtender Punkte. *Archiv f. Ophthalmologie* XLIV, 3, S. 445.

Sehr leicht konnte ich mich nun davon überzeugen, dafs bei den in Freiburg benutzten Versuchseinrichtungen die Erscheinungen überzeugend so aussahen, wie sie v. Kr. beschrieben hat. In beiden Beziehungen ist von Hess auf gewisse Täuschungsquellen hingewiesen worden. Die ohne grofse Schwierigkeit auszuführende Aufgabe bestand darin, die Methode so zu modificiren, dafs diese Täuschungsquellen vollkommen ausgeschlossen würden und zu prüfen, ob die Erscheinungen dabei unverändert blieben oder sich etwa in der Weise modificirten, wie dies im Sinne der Angaben von Hess erwartet werden könnte.

Ich schicke einige allgemeine Bemerkungen über die benutzte Methode voraus. Da die Verwendung homogener spectraler Lichter, wie aus den früheren Beobachtungen bekannt ist, im Allgemeinen entbehrt werden kann und jedenfalls für die eben erwähnten Fragen ganz ohne Belang war, so habe ich auf die umständlichen, von Kr. früher beschriebenen Einrichtungen ganz verzichtet und mich ausschiefslich des nachstehend kurz beschriebenen, im Freiburger Institut seit einigen Jahren benutzten aber noch nicht publicirten Apparates bedient. Derselbe, in Fig. 1 im Grundrifs, in Fig. 2 in Vorderansicht dargestellt, besteht aus einem grofsen

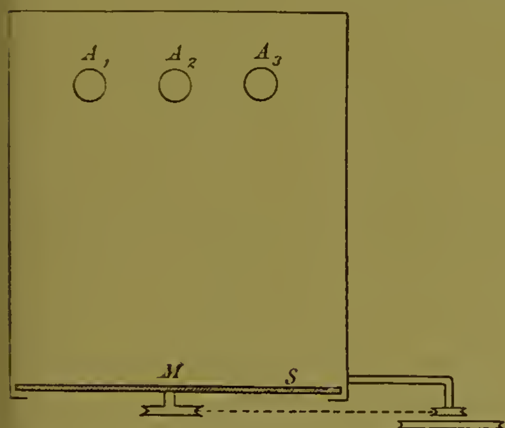


Fig. 1.

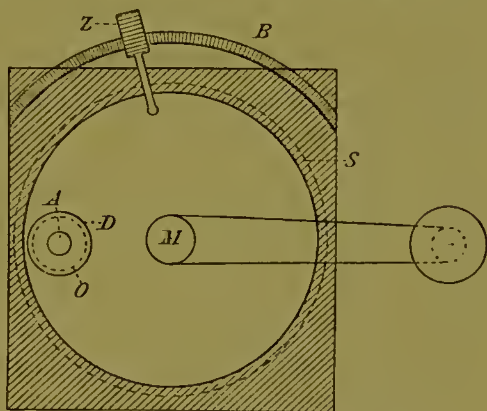


Fig. 2.

Kasten von starkem Eisenblech, ca. 45 cm hoch und breit, 62 cm tief. Nahe der hinteren Wand sind drei Auerbrenner angebracht (A_1, A_2 und A_3 in Fig. 1), über deren Cylindern der Deckel des Kastens lichtdicht behandelte Schornsteine trägt. Die Hinterwand des Apparats ist als Thür zu öffnen und zu schliefsen und von hier aus werden die Brenner entzündet. Uebrigens hat jeder der Brenner seinen besonderen aufserhalb des Apparats angebrachten Hahn und ist jeder mit einer Zündflamme versehen; auf diese Weise ist es möglich, während der Versuche und ohne

die Thür zu öffnen zwischen einer Beleuchtung mit einer, zwei und drei Flammen zu wechseln. Die dem Beobachter zugekehrte Vorderwand des Apparats besteht in der Hauptsache aus einer verticalen runden eisernen Scheibe *S* von 43 cm Durchmesser (die Contur derselben ist in Fig. 2 durch die unterbrochene Linie angegeben), welche um die horizontal (in der Richtung vom Beobachter fort) durch ihre Mitte gehende Axe drehbar ist (*M* in Fig. 2). Die feste Vorderwand der Apparats ist entsprechend kreisförmig ausgeschnitten und greift über die drehbare Scheibe soweit über, dafs bei dem sehr geringen Abstande der einander zugekehrten Flächen an der Peripherie keine merklichen Mengen von Licht herausdringen.

Um die specielleren Versuchsbedingungen möglichst leicht und in mannigfaltigster Weise wechseln zu können, besitzt die Scheibe nahe ihrer Peripherie eine kreisrunde Oeffnung (*O* in Fig. 2) von 7,5 cm Durchmesser; diese kann mit einer genau darauf passenden Zinkblechscheibe *D* bedeckt werden, in der erst der eigentlich als helles Object dienende Ausschnitt *A* angebracht ist. Solcher Scheiben steht ein gröfserer Vorrath mit einfachen und doppelten Oeffnungen verschiedener Gröfse zur Verfügung. Die lichtdichte Befestigung der Blechscheiben geschieht jetzt[1] einfach so, dafs dieselben mit zwei Federn angedrückt werden; der Rand der Oeffnung ist mit schwarzem Tuch bedeckt; auf diese Weise hat man lichtdichten Verschlufs und zugleich ist die Auswechselung der Blechscheiben in bequemster Weise ermöglicht. Diese Scheiben selbst tragen auf ihren Hinterflächen leichte Quetschfedern, vermöge deren Milchgläser, Rauch- und farbige Gläser oder auch kleine Flüssigkeitströge bequem aufgesetzt werden können. Auf diese Weise gelingt denn die Herstellung scharf umgrenzter bewegter heller Felder von verschiedenen Farben und Lichtstärken, die in grofser Mannichfaltigkeit variirt werden können. Ein Milchglas mufs natürlich immer verwendet werden, weil sonst das Feld bei seiner Bewegung die Helligkeit erheblich verändert. Für die Bewegung der Scheibe ist dann seitlich am Apparat in der aus Fig. 1 und 2 ersichtlichen Weise eine Uebersetzungsscheibe angebracht. Ein Elektromotor mit Centrifugalregulirung trieb unter Einschaltung

[1] Ich selbst benutzte noch eine etwas umständlichere Einrichtung, von deren Beschreibung abgesehen werden darf.

dieser die Scheibe meistens so, dafs ca. eine Umdrehung auf 1,5 Sec. kam.

Zu erwähnen ist endlich noch der Kreisbogen *B* (Fig. 2), der mit einem oder zwei Fixirzeichen tragenden Schiebern versehen ist. In der Figur ist nur einer (*Z*) dargestellt. Ein auf dem Bogen gleitender Schieber trägt zwei Kupferdrähte, deren Spitzen durch eine feine Platindrahtschlinge verbunden sind. Diese, durch einen Accumulator mit passendem Widerstand in ganz schwaches Glühen gebracht, dient im verdunkelten Raum als Fixirzeichen. Diese Marken sind in der Benutzung sehr bequem, jedoch insofern nicht immer einwandsfrei, als das Zeichen selbst und die Kupferdrähte einen freilich nur sehr kleinen Theil des umlaufenden hellen Objects verdecken. Für die eine meiner Aufgaben, die die Farben der nachlaufenden Bilder betrifft, war dies ohne Bedeutung. Für die Prüfung des centralen Fehlens (s. u.) wurden diese Zeichen nicht benutzt.[1]

Um zunächst hinsichtlich der Farbe der nachlaufenden Bilder zu einer jeden Zweifel ausschliefsenden Entscheidung zu gelangen, verfuhr ich so, dafs ich zwei Oeffnungen anwandte, von denen die eine gelbes, die andere blaues Licht durchliefs. Natürlich müssen die Oeffnungen radial gegen einander stehen, so dafs sie bei der Drehung n e b e n einander (nicht h i n t e r einander) laufen; zweckmäfsig läfst man einen kleinen Abstand zwischen ihnen. Dem gelben Licht die passende Intensität zu geben, ist sehr leicht. Dagegen stiefs ich beim Blau auf Schwierigkeiten, weil die zur Verfügung stehenden Milchgläser alle ziemlich gelb waren und bei Anwendung von alkalischen Kupferlösungen das blaue Licht zu schwach wurde. Am besten kam ich schliefslich zum Ziel, indem ich die Oeffnung blos mit dem sehr stark durchscheinenden dunkelblauen Papier der ROTHE'schen Sammlung (zum Farbenkreisel) bedeckte. Ich erzielte so ein recht gesättigt blaues Feld, welches ein vorzügliches nachlaufendes Bild gab. Ohne Schwierigkeit war das Gelb so abzustufen, dafs das von ihm herrührende nachlaufende Bild etwa die gleiche

[1] Wer sich von den Erscheinungen überhaupt eine Anschauung verschaffen will, kann übrigens die glühenden Platindrähtchen ganz wohl auch benutzen, um das centrale „Springen“ des nachlaufenden Bildes zu beobachten. Denn bei passendem Abstand des Beobachters (1 — 1,5 m) taucht das nachlaufende Bild in einem so erheblichen Abstand vom Fixirzeichen unter, dafs an einen Einflufs der Verdeckung des Objects durch die Kupferdrähte nicht zu denken ist.

Lichtstärke zu haben schien. Hier liefs sich nun die Farbe der nachlaufenden Bilder vortrefflich beurtheilen, am besten wenn die Anordnung so getroffen wurde, dafs beide in mäfsigem Abstande, das eine aufsen, das andere innen von der Fixirmarke vorbeiglitten. Das Ergebnifs war dann auch vollkommen klar und eindeutig: das Nachbild des gelben Objects war schön blau, das des blauen minder gesättigt gelblich. Dafs bei Anwendung eines homogenen (spectralen) Blau das Gelb des Nachbildes sich noch etwas kräftiger hätte erzielen lassen, darf wohl vermuthet werden.[1] Im Hinblick auf theoretische Fragen ist jedoch die hier gemachte Feststellung genügend und entscheidend. Denn es mufs allerdings zugegeben werden, dafs die Farbenangabe hinsichtlich des einzelnen nachlaufenden Bildes durch die Betonung subjectiver Täuschungsmöglichkeiten aus psychologischer Ursache (wie dies hier einmal seitens der Hering'schen Schule geschieht) in Zweifel gezogen werden kann. Dagegen wüfste ich nicht, in welchem Sinne ein ähnlicher Zweifel gegenüber der hier beobachteten Farben-Differenz geltend gemacht werden könnte, und mit welcher Unsicherheit etwa noch der Satz behaftet sein sollte, dafs diese Farbendifferenz derjenigen der primären Bilder dem Sinne nach entgegengesetzt ist. Das also läfst sich ohne Widerrede sagen, dafs die Färbungen der primären Bilder diejenigen der nachlaufenden im entgegengesetzten Sinne modificiren. Danach sind wir auch in der Lage, anzugeben, mit welchen Einschränkungen der Satz von der complementären Färbung der nachlaufenden Bilder aufgestellt werden kann. Zu beachten ist nämlich erstens, dafs die Färbung überhaupt nur dem Sinne (nicht aber der Sättigung) nach dem primären Bilde complementär genannt werden kann. Aufserdem aber ist die Farbe durchweg etwas gegen das Blau verschoben: bei rein weifsem primärem Felde erscheint das nachlaufende den meisten Personen bläulich gefärbt.[2] Hieraus erklärt sich denn, dafs eine deutlich gelbe Färbung des Nachbildes nur bei sehr gesättigtem Blau des primären erhalten wird, während bei nur mäfsiger Sättigung des (primären) Gelb das (nachlaufende) Blau überraschend schön

[1] Dies ist in der That, wie der Vergleich mit der früher von mir benutzten Anordnung lehrt, ganz zweifellos der Fall. v. Kries.

[2] Vgl. hierüber und über die Einschränkung, mit der die durch Reizung der Stäbchen hervorgerufene Empfindung farblos genannt werden darf die Ausführungen von Kries, *Zeitschr. f. Psychol.* IX, S. 87 Anm.

ist. Es erklärt sich so wohl auch die zusammenfassende, übrigens seine eigenen Beobachtungen nur unvollkommen wiedergebende Angabe Bidwell's, in der die Färbung des „ghost“ als „generally violet“ bezeichnet wird.

Der zweite Punkt, bez. dessen ich eine genauere Untersuchung anstellte, war die von Kries angegebene Thatsache, dafs das Nachbild einen gewissen, den Fixationspunkt umgebenden centralen Bezirk überspringt. Von der Richtigkeit dieser Angabe auch für mein Auge habe ich mich durch vielfache Beobachtung überzeugt. Auch kann ich bestätigen, dafs, wie v. Kries neuerlich angegeben hat, die gleiche Erscheinung excentrisch nicht gesehen wird; über ein excentrisch angebrachtes Lichtzeichen von gleicher Art wie das als Fixationsmarke dienende, läuft vielmehr das Bild continuirlich hinüber. Es kann also wohl kaum (mit Hess) angenommen werden, dafs das „Springen“ auf irgend einem störenden Einflufs des Fixirlichts beruhe. Ich habe versucht, ähnlich wie es Pertz gethan hat, die Gröfse des centralen Bezirks zu ermitteln, in dem die eigenthümliche Duplicität des Reizungseffects bei kurzer Belichtung fehlt, und auch hierbei die Möglichkeit einer Beeinträchtigung durch das Licht des Fixirzeichens auszuschliefsen. Zu diesem Zwecke verfuhr ich so, dafs vor die rotirende Scheibe des oben geschilderten Apparates eine zweite mit schmalem horizontalem Spalt fest aufgestellt wurde .Man erhält auf diese Weise an einer bestimmten Stelle des Gesichtsfeldes ein kurzes Aufleuchten (einmal bei jedem Umgang der rotirenden Scheibe). Um diese Erscheinung in verschiedene Stellen des Gesichtsfeldes zu bringen wurde durch ein planparalleles Deckgläschen beobachtet, welches, schräg aufgestellt, das virtuelle Bild eines sehr kleinen Glühlämpchens mit dem aufleuchtenden Object in die gleiche Ebene brachte. Das Glühlämpchen war an einem horizontalen Arm befestigt und um eine, etwa durch das Auge des Beobachters gehende verticale Axe beweglich, sodafs man das Fixirzeichen in horizontaler Richtung über das zu beobachtende Object (das aufleuchtende Feld) wandern lassen konnte. Diese, der Pertz'-schen Versuchsanordnung im Wesentlichen gleichkommende Einrichtung wurde nun insofern modificirt, als neben einander zwei Glühlämpchen angebracht wurden. Im Gesichtsfeld befinden sich nun in der, durch Fig. 3 dargestellten Weise zwei gleiche Lichtzeichen L_1 und L_2 und das intermittirend aufleuchtende Object

O zwischen ihnen. Der Abstand der beiden Lämpchen wurde dabei so gewählt, dafs das nicht fixirte der Stelle sehr nahe kam,

L_1 $\overset{O}{\sqsubset\!\sqsupset}$ L_2

Fig. 3.

wo das zweite Aufleuchten in den nur mit einem Lichtzeichen ausgeführten Vorversuchen aufzutreten anfing. Es war dazu ein Abstand der Zeichen von 3 cm passend. Während nun das eine der Zeichen fixirt wird, kann man das Object allmählich von diesem entfernen, wobei es sich dann dem andern um ebensoviel annähert. Die Beobachtung lehrte sehr deutlich, dafs die Hinzufügung des zweiten Zeichens an der Erscheinung nichts ändert. Das zweite Aufleuchten (hier blau) fehlt, wenn das Object dem fixirten Zeichen nahe steht; hat es sich um eine gewisse Strecke davon entfernt, so wird das zweite Aufleuchten bemerkbar, wiewohl das Object nun dem zweiten (nicht fixirten) Zeichen sehr nahe steht, und bleibt vollkommen deutlich beobachtbar, wenn das Object diesem noch weiter angenähert oder mit ihm zur Deckung gebracht wird. Selbstverständliche Voraussetzung für diese Versuche ist freilich, dafs man die Lichtzeichen nicht überschüssig stark macht; den an einer Glasfläche gespiegelten kleinen Glühlämpchen kann man sehr leicht die für den Versuch geeignete geringe Lichtstärke geben. Als Ergebnis dieser Versuche kann ich, im Mittel sehr zahlreicher Einzelbeobachtungen, anführen, dafs, um das zweite Aufleuchten bemerkbar zu machen das Object lateral etwa 2,14, medial etwa 2,6 cm vom Fixirzeichen abstehen mufste. Der der betr. Function entbehrende Bezirk berechnet sich hiernach auf eine Gröfse, die auf 1 m Abstand proficirt 47—57 mm[1] ausmachen würde, d. h. rund 3°, in naher Uebereinstimmung mit den Ergebnissen von Pertz.

Wenn es erlaubt ist, den mitgetheilten Versuchen trotz ihres geringen Umfanges Einiges über die daraus etwa zu ziehenden Schlüsse hinzuzufügen, so dürfte Folgendes zu sagen sein. Die zuletzt mitgetheilte Thatsache ergiebt, dafs eine gewisse eigenartige Functionsweise, auf der die zeitlich doppelte Reizwirkung

---

[1] Je nachdem man annehmen will, dafs die Erscheinung schon bemerkbar wird, wenn das Object nur zum kleinsten Theil oder erst wenn es ganz aufserhalb des betr. Bezirks fällt, zwei extreme Annahmen, zwischen denen die Wahrheit wohl irgendwo in der Mitte liegen wird.

kurz dauernden Lichter beruht, in einem kleinen centralen Netzhautbezirk nicht nachgewiesen werden kann. Will man hieraus Schlufsfolgerungen bez. des Fehlens bestimmter anatomischer Apparate oder bestimmter chemischer Substanzen knüpfen, so wird man immer beachten müssen, dafs die Beobachtung doch wohl nur eine beschränkte Empfindlichkeit besitzt und in dieser Hinsicht mit manchen andern nicht verglichen werden kann. Stimmen also auch die Beobachtungen unverkennbar gut zu der von Kries vertretenen Annahme, dafs das nachlaufende Bild auf der Action des central fehlenden „Dunkelapparates" beruhe, so würde ich doch nicht wagen, sie als strengen Beweis für das absolute Fehlen desselben im Centrum zu betrachten. Und stände ein solches absolutes Fehlen in einem centralen Bezirk aus anderen Gründen fest, so würde ich die von mir gefundenen Maafse nicht für exacte Maafse dieses des Dunkelapparats vollkommen entbehrenden Bezirks zu nehmen wagen. Mit den erwähnten theoretischen Anschauungen sind also meine Beobachtungen in gutem Einklang ohne jedoch zu ihrer genaueren Präcisirung in manchen vielleicht noch discutirbaren Punkten dienen zu können. Einer Erörterung darüber, welche Unterschiede zwischen der centralen und der peripheren „schwarzweifsen Sehsubstanz" angenommen werden müfsten, um die Thatsachen zu erklären, glaube ich mich enthalten zu sollen. Ich habe endlich noch anzuführen, dafs ich unmittelbar vor Abschlufs dieses Manuscripts in den Besitz einer Arbeit von Hamaker[1] gelangte, welche erfreulicher Weise die hier behandelten Eigenthümlichkeiten der nachlaufenden Bilder in einer mit unseren Erfahrungen durchaus übereinstimmenden Weise schildert. Auch er constatirt insbesondere das Fehlen des nachlaufenden Bildes im centralen Netzhautbezirk.

[1] H. C. Hamaker, Over Nabeelden. Proefschrift. Utrecht 1899.

(Aus dem Physiologischen Institut zu Freiburg i. Br.)

Weitere Mittheilungen über die functionelle Sonderstellung des Netzhautcentrums.

Von

J. von Kries und W. A. Nagel.

In Bezug auf die Functionsunterschiede zwischen dem Netzhautcentrum und den benachbarten Theilen gehen die der letzten Zeit angehörigen Angaben, wie bekannt, auseinander. Während einige Autoren gewisse Eigenthümlichkeiten der Function, die peripher vorhanden sind, dem Centrum vollkommen absprechen, gehen die Erfahrungen anderer, allgemein gesagt, etwa dahin, dafs zwischen Centrum und Peripherie zwar quantitative, aber keine qualitativen Unterschiede nachweisbar seien. In dieser Richtung sind vornehmlich zu erwähnen Tschermak[1] und Shermann.[2] Eine erneute Prüfung der Frage erschien uns, in Ergänzung unserer früheren Angaben[3] hauptsächlich aus zwei Gründen erwünscht. Erstlich hatten sich unsere Beobachtungen damals auf mäfsige Adaptationszeiten beschränkt, 30 bis vielleicht 60 Minuten. Da insbesondere Tschermak angiebt, dafs die centrale Adaptation aufserordentlich langsam erfolge, so war es geboten, die gleichen oder ähnliche Versuche auch mit sehr viel längerer Adaptationsdauer zu wiederholen. Sodann war es, wie auch mehrfach hervorgehoben wurde, nicht gelungen, den jener Functionsweisen ermangelnden Bezirk mit der Genauigkeit zu

---

[1] A. Tschermak. Ueber die Bedeutung der Lichtstärke und des Zustandes des Sehorgans für farblose optische Gleichungen. Pflüger's *Arch.* 70, 297.

[2] Shermann. Ueber das Purkinje'sche Phänomen im Centrum der Netzhaut. Wundt's *Philos. Studien* 13, 434.

[3] J. v. Kries u. W. Nagel. Ueber den Einflufs von Lichtstärke und Adaptation auf das Sehen des Dichromaten (Grünblinden). *Ztschr. f. Psychol.* 12, 1.

umgrenzen, die man hätte wünschen können. Auch in dieser Beziehung erschien es also geboten, nach der Möglichkeit einer Ergänzung zu suchen.

Bei einer abermaligen Bearbeitung des Gegenstandes fanden wir zweckmäfsig, in mehreren Hinsichten von dem Verfahren der anderen vorhin erwähnten Autoren abzugehen. Wir konnten nicht für rathsam halten, die Versuche an einem centralen Felde von solcher Ausdehnung anzustellen, wie nach den zur Zeit vorliegenden histologischen Angaben die Gröfse des stäbchenfreien Bezirks geschätzt wird. Denn erstlich kann man wohl darüber im Zweifel sein, wie weit diese Angaben für den Einzelfall als maafsgebend zu betrachten sind. Sodann ist zu beachten, dafs, wenn man dem Felde eine Gröfse giebt, die das stäbchenfreie Gebiet gerade deckt, eine vielleicht nie zu realisirende absolut strenge Fixation erforderlich wird und die geringste Blickschwankung das Ergebnifs fälschen kann. Auch dies spricht zunächst für die Benutzung kleinerer Felder. Aufserdem aber mufs man es doch wohl auch für wünschenswerth erachten, die Untersuchung von bestimmten theoretischen Voraussetzungen einigermaafsen abzulösen. Stellt man zunächst ohne theoretischen Ausblick die Frage einfach dahin, ob überhaupt ein centraler Bezirk existirt, der irgendwelche Functionseigenthümlichkeiten oder Functionsmängel darbietet, so erscheint es ohne Zweifel richtiger, die Prüfung zunächst an einem noch erheblich kleineren Felde vorzunehmen. War die Frage zu bejahen, so bot sich dann erst als weitere Aufgabe die, die Gröfse jenes Bezirkes mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen. Natürlich mufste dabei Bedacht genommen werden, die Sicherheit der Beobachtung durch die Reduction des Feldes nicht herabzusetzen. Um in dieser Beziehung möglichst günstige Verhältnisse zu gewinnen, erschien es nützlich auch hier auf die Methode des „Flecks“ zu recurriren, d. h. das eine der zu vergleichenden Felder rings von dem anderen umschlossen darzustellen. Dies haben wir in der später noch genauer zu beschreibenden Weise gethan und dabei dem eingeschlossenen kreisförmigen Fleck eine Ausdehnung von nur $^1/_4$, in anderen Versuchsreihen von $^1/_2$ Grad gegeben.

Im Uebrigen war es natürlich angezeigt, die ganze Frage auf einem Gebiete in Angriff zu nehmen, auf dem in sonstiger Beziehung die Chancen für ihre Beantwortung die günstigsten

sind. Von allen den Erscheinungen nun, die den Gedanken eines selbständigen „Dunkelapparates“ nahegelegt haben, ist weitaus die auffälligste die Abweichung der Dämmerungswerthe von den Hellwerthen, wie sie der Dichromat, vornehmlich der Deuteranop, beobachtet und das Fehlen dieser Erscheinung im Centrum ist demgemäfs auch von allen den functionellen Sonderstellungen, die diesem zukommen, die am schärfsten charakterisirte und greifbarste. Wir haben bereits früher mitgetheilt, dafs für den Einen von uns, sowie für andere Deuteranopen, leicht zwei farblose, helläquivalente Lichter, ein homogenes und eine Roth-Blau-Mischung hergestellt werden können, deren Dämmerungswerthe sich so stark unterscheiden, dafs der eine das Sechs- bis Achtfache des anderen beträgt. Mit Bezug auf derartige Vergleiche haben wir denn auch früher angegeben [1], dafs die Hellgleichungen auf kleinen centralen Feldern gültig bleiben, auch wenn die Bedingungen des Dämmerungssehens, Abschwächung der Lichter und Dunkeladaptation, eingeführt werden. Unsere damaligen Erfahrungen gaben aber für die hier zu behandelnde Frage einen noch weit günstigeren Modus an die Hand. Es besteht nämlich hier keinerlei Nothwendigkeit, sich auf farblose Lichter oder Lichtmischungen zu beschränken. Im weniger brechbaren Theile des Spectrums nun finden sich helläquivalente Lichterpaare, deren Dämmerungswerthe noch sehr viel stärker verschieden sind (1 : 100 und noch mehr [2]). Wir beschlossen daher in erster Linie zu prüfen, ob bei einer Hellgleichung von dieser Art auch für das Netzhautcentrum die Ungleichheit der Dämmerungswerthe bemerkbar werde.

In einer Beziehung konnte der Versuch gegenüber früheren vereinfacht und zugleich verschärft werden. Es kann nämlich wohl als sichergestellt gelten, dafs für das helladaptirte Centrum die Gleichungen durch proportionale Intensitätsvariirung keine Beeinträchtigung erfahren. Man kann daher hier auf diese Variirung überhaupt verzichten und sich darauf beschränken, den Einflufs der Adaptation zu prüfen. Die Wahl der absoluten Lichtstärken ist dabei zunächst willkürlich. Wie wir in dieser Beziehung verfuhren, wird später noch anzuführen sein.

Wir schicken der speciellen Mittheilung unserer Versuche noch einige Bemerkungen über das benutzte Verfahren für

[1] *Zeitschr. f. Psychol.* 9, 97; 12, 25 f.

[2] *Zeitschr. f. Psychol.* 12, 17 f.

Dunkeladaptation voraus. Das Verfahren des Occlusivverbandes ist in mancher Hinsicht ja das bequemste und am wenigsten belästigende. Die Anforderung aber, daſs beim Aufenthalt im hellen Raum keine Spur von Licht in das Auge gelangen kann, ist überhaupt nicht ganz leicht, noch schwerer so zu erfüllen, daſs das Auge dabei keinen seine Functionen beeinträchtigenden Druck erfährt. Dem Einen von uns (N.) gelang es nach längerem Probiren und Einüben, sich ein Verfahren herzustellen, das in beiden Beziehungen tadellos war. Demgemäſs konnte dann mit dem Dunkelauge unmittelbar nach der Abnahme des Verbandes beobachtet werden, was namentlich werthvoll war, wenn es auf einen unmittelbaren Vergleich mit dem anderen helladaptirten Auge ankam. Der Andere von uns (K.) empfand von dem Schluſsverband auf die Dauer stets leichte Belästigung, und es war daher nöthig, den Endtheil der Adaptationszeit ohne Verband im völlig verdunkelten Zimmer zuzubringen. Für sehr lange Adaptationszeiten haben wir beide die Nacht benutzt. In der Zeit der langen Nächte kann man leicht des Morgens, ehe die Augen Licht erhalten haben, das eine mit dem Schluſsverband zudecken. Dieser bleibt dann entweder bis unmittelbar vor der Anstellung der entscheidenden Beobachtungen mit dem Dunkelauge liegen, oder er wird im ganz verdunkelten Zimmer entfernt, um das Auge noch einige Zeit ganz von Druck befreit zu halten, wie dies der Eine von uns (K.) vorzog.

I.

In einer ersten Reihe von Versuchen wurde der geradsichtige Spectralapparat benutzt, der in der Arbeit von Polimanti [1] beschrieben ist. Der Beobachter sieht hier, in der gewöhnlichen Weise durch einen Spalt blickend, die Objectivlinse von einem beliebig zu wählenden homogenen Licht erhellt. Man kann nun, ganz wie es Polimanti bei seinen Versuchen that, vor der Linse eine Scheibe mit einem Loch anbringen, die von vorn her beleuchtet wird. Das spectrale Licht erscheint dann als Fleck in demjenigen, welches von der Vorderfläche jener Scheibe diffus reflectirt wird, und auch dieses letztere kann natürlich durch Benutzung eines farbigen Papiers, sowie durch Anwendung farbiger Beleuchtung nach Belieben hergestellt werden. Es war

[1] O. Polimanti. Ueber die sogenannte Flimmerphotometrie. *Zeitschr. f. Psychol.* 19, 263.

am vortheilhaftesten, das umgebende Licht roth, das spectrale des Flecks grüngelb zu machen. Die Scheibe wurde demgemäfs aus dem rothen Papier der ROTHE'schen Sammlung hergestellt und mittels eines Auerbrenners beleuchtet, der in einer mit rothem Glas verschlossenen Laterne, wie sie für photographische Zwecke benutzt wird, eingeschlossen war. Das gelbgrüne Licht des Spectroskops wurde danach so kurzwellig gewählt, wie dies mit der Anforderung einer vollkommenen Gleichung für das helladaptirte Centrum vereinbar war.

Hierbei zeigte sich, dafs für die Einstellung der Gleichungen die Methode des Flecks auch bei centraler Beobachtung zum mindesten subjectiv sehr angenehm ist und das Gefühl einer grofsen Sicherheit giebt. Jedoch ist zu bemerken, dafs es im Allgemeinen nicht gelingt, den Fleck wirklich ganz unsichtbar zu machen, wie dies bei Peripheriebeobachtungen möglich ist. Bei der hohen Sehschärfe des Centrums bleibt eine Andeutung des Umrisses meist stellenweise sichtbar und zwar selbst bei sorgfältigster Behandlung der die Oeffnung begrenzenden Ränder. Dies gilt, wie hier sogleich bemerkt sei, auch für die in den folgenden Abschnitten mitgetheilten Versuche, auch für diejenigen, bei denen die Uebereinanderlagerung von Fleck und Grund mit dem LUMMER'schen Würfel gemacht wurde. Der Grund liegt wohl vornehmlich in der Farbenzerstreuung des Auges, durch welche, beim Aneinanderstofsen objectiv verschiedener und nur subjectiv gleich erscheinender Lichter, die Grenzlinie stets eine Abweichung bieten mufs. Bei geringen Lichtstärken erreicht man allerdings, dafs der Rand nur stellenweise und für Augenblicke bemerkbar wird. Jedenfalls ist die Vergleichung der Felder nach Helligkeit und Farbe eine sehr vollkommene, sicherer als bei der Benutzung zweier aneinander grenzender Felder mit deutlichen Grenzlinien, wie sie z. B. die Farbenmischapparate sonst darbieten. So weit sich nach dem subjectiven Eindruck ohne directe Bestimmung des mittleren Fehlers u. dgl. urtheilen läfst, dürfte dieser Vortheil der Anordnung die Erschwerung durch Reduction der Feldgröfse reichlich aufgewogen haben. Selbstverständlich bleibt zu beachten, dafs Vergleiche, die auf eine bestimmte Netzhautstelle beschränkt sind, also mit fixirtem Auge ausgeführt werden müssen, stets an Genauigkeit weit hinter denjenigen zurückbleiben, bei denen die verlangte Gleichheit für alle Netzhautstellen gültig ist und

daher mit bewegtem Auge beobachtet werden kann. Dies gilt umsomehr, wenn thatsächlich kleine Blickschwankungen schon genügen, um das Verhältnifs von Fleck und Umgebung sehr zu modificiren. — Als eine zu beachtende Fehlerquelle sei hier noch erwähnt, dafs sich bei kleinem Fleck das Ergebnifs der Vergleichung zwar nur wenig, aber doch deutlich von der Accommodation abhängig zeigte, was bei der Ungleichheit der Zerstreuungsbedingungen für die Lichter des Flecks und des Grundes verständlich ist. Wir haben aus diesem Grunde Sorge getragen, erheblichen Wechsel des Accommodationszustandes in allen Versuchen thunlichst zu vermeiden.

Was die absolute Helligkeit anlangt, bei der die Versuche auszuführen waren, so haben wir es für richtiger erachtet, sie nicht auf die ganz geringen Lichtstärken zu beschränken, die in den vorhin erwähnten Versuchen von Nagel und Stark zur Verwendung gekommen waren. In der That nämlich kann man ja wohl daran denken, dafs geringe Spuren des Dunkelapparates im Centrum gerade bei ganz schwacher Reizung unter der Schwelle der Wirksamkeit bleiben möchten, das in der Peripherie bestehende Verhältnifs sich also umkehren könnte. Es wurden daher im Allgemeinen zwar geringe, aber doch nicht der Grenze der Sichtbarkeit sich annähernde Lichter verwendet.[1] Aus diesem Grunde wurde es möglich, uns in einem Punkte der Anordnung Tschermak's anzuschliefsen, nämlich ein dunkles Fixirzeichen zu benutzen. So wenig es uns auch glaublich erschien, dafs das in jenen Versuchen verwendete winzige Lichtpünktchen eine etwaige Adaptation der Fovea hätte zerstören sollen, so war natürlich doch die Verwendung des dunkeln Zeichens vorzuziehen, sobald eine hinreichende Sicherheit der Fixation auch mit ihm voraussichtlich zu erreichen war. Es wurde also vor die Scheibe ein schwarzer Faden gespannt, der ein kleines, als Fixirmarke dienendes Knötchen trug.

Bei der Anordnung der Versuche mufste selbstverständlich Sorge getragen werden, dafs das Auge des Beobachters vor dem Lichte der Spectroskoplampe vollkommen geschützt war, was sich durch passende Schirme leicht erreichen liefs. Auch von

[1] Eine bestimmtere Angabe über die Lichtstärken ist hier leider nicht möglich, wird aber bei der folgenden Versuchsreihe gegeben werden.

dem rothen Lichte zerstreute sich nur wenig im Zimmer, so dafs das zum Versuche benutzte Auge die entscheidende Beobachtung unmittelbar nach der vollständigen Verdunkelung machen konnte und auch bei der Beobachtung selbst keine anderen als die zu vergleichenden Lichter ins Auge drangen. Ein gewisser Uebelstand war bei diesen Versuchen der, dafs die beiden zu vergleichenden Lichter von zwei verschiedenen Lichtquellen geliefert wurden, demgemäfs eine Aenderung in deren Helligkeit auf die Gleichungen von Einflufs sein mufste. Solche Aenderungen sind zwar in kurzen Zeiten nicht zu constatiren, müssen aber bei Erstreckung über längere Zeiten immer als möglich in Rechnung gezogen werden. Es war aus diesem Grunde sehr werthvoll, dafs die Beobachtungen nach Belieben mit beiden Augen ausgeführt werden konnten, und dafs, wie eine Reihe von Vorversuchen zeigte, die Gleichungen des rechten und linken Auges im helladaptirten Zustande keine bemerkbare Differenz ergaben. Hiernach gestaltete sich denn der Gang eines Versuches folgendermaafsen. Das eine Auge, in einigen Fällen das rechte, in anderen das linke, wurde in den Zustand hochgradiger Dunkeladaptation versetzt. Die Adaptationszeiten betrugen dabei in verschiedenen Versuchen zwischen zwei und zwölf Stunden.

Nach dieser Vorbereitung wurde, wobei dieses Auge noch verdeckt blieb, die Gleichung mit dem anderen, helladaptirten Auge aufs Sorgfältigste eingestellt. Nachdem dies geschehen, wird das Dunkelauge von seinem Verband befreit und die Gleichung von diesem geprüft. Schliefslich kann die Gleichung nochmals von diesem controlirt werden, nachdem es seiner Dunkeladaptation durch einen Aufenthalt im hellen Zimmer beraubt worden ist. Das Ergebnifs dieser Versuche war nun dies: In dem Augenblick, wo das Dunkelauge geöffnet wird und ehe es sich auf den Fixirpunkt gerichtet hat, erscheint der Fleck ungemein stark hell, man könnte sagen leuchtend, auf dunkler Umgebung. Dies Verhältnifs ist aber in dem nämlichen Momente verschwunden, in dem der Blick auf die Fixirmarke gerichtet ist. Die für das helladaptirte Centrum geltende Gleichung erscheint stets auch für dasjenige, welches stundenlang dunkeladaptirt war, zutreffend.

Ueber die Gröfse des Bezirks, für welchen diese Regel zutrifft, wurden bei dieser Versuchseinrichtung einige Beobachtungen gemacht. Dieselben waren in einigen Hinsichten technisch un-

vollkommen und sollen hier nicht des Genaueren mitgetheilt werden. Sie lieferten aber ein beachtenswerthes und auch in den folgenden Reihen bestätigtes Ergebnifs. Bei dem wiederholt gemachten Vergleich nämlich einer relativ kurzen ($^1/_2$—1 stündigen) und einer sehr langen (3—10 stündigen) Dunkeladaptation zeigte sich, dafs die Grenzen nicht merklich verschieden gefunden werden; in dem gleichen Abstande von dem Fixirpunkte beginnt der Fleck sich vom Grunde zu unterscheiden. Die Grenze scheint aber durch die sehr lange Adaptation bedeutend an Schärfe zu gewinnen; das Ungleichwerden tritt plötzlicher auf, der Unterschied, der beim Ueberschreiten der Grenze zu bemerken ist, ist weit stärker und augenfälliger. Wir werden auf diesen Umstand noch zurückzukommen haben.

II.

Trotz des vollständigen Verzichts auf prismatische Zerlegung waren die messenden Versuche einer zweiten Reihe wesentlich vollkommener und vollständiger als die eben beschriebenen. Aus verschiedenen Gründen schien es zweckmäfsig, auch hier auf das bereits vielfach als sehr gut erprobte Verfahren Hering's zu recurriren und die Versuchseinrichtung an der Thür zwischen zwei Dunkelzimmern anzubringen. Im Einzelnen gestaltete sich das Verfahren folgendermaafsen: Die Thüre, welche, wie wir es nennen wollen, das Beobachtungs- und das Nebenzimmer trennt, war mit einer Oeffnung von ca. 5 cm Durchmesser versehen. Diese wurde auf der Seite des Nebenzimmers mit Milchglas und mit einem Absorptionstroge bedeckt, der mit der von dem Einen von uns beschriebenen[1] gelblichgrünen Flüssigkeit gefüllt war. Im Abstande von etwa 1 m wurde eine Auerlampe aufgestellt und es erschien alsdann die Oeffnung vom Beobachtungszimmer aus gesehen als eine mit annähernd homogenem gelbgrünem Licht gleichmäfsig erleuchtete Fläche. Dicht vor dieser Oeffnung auf der Seite des Beobachtungszimmers war nun wieder eine rothe und mit rothem Licht zu beleuchtende Scheibe angebracht; in dieser erst befand sich das kleinere, für die Beobachtung eigentlich in Betracht kommende Loch, in der Regel von 2,5 mm Durchmesser, entsprechend einem Gesichtswinkel von $^1/_4$ °. Beleuchtet wurde die rothe Scheibe von der Seite des Beobachtungszimmers aus

[1] W. A. Nagel. Ueber flüssige Strahlenfilter. *Biolog. Centralbl.* 18, 649.

durch eine mit Rubinglas verschlossene Dunkelzimmerlampe, die auf einer Photometerbahn beweglich aufgestellt war. Der Beobachter konnte sie von seinem Platze aus bequem schieben und auf diese Weise die Herstellung der Gleichung bewirken. Um zu einer ganz befriedigenden Combination zu gelangen, ist hier einiges Probiren sowohl bezüglich der die Farbe des Flecks bestimmenden Absorptionsflüssigkeit, wie bezüglich des rothen Papiers und der für die Laterne zu wählenden Gläser erforderlich. Wir gelangten indessen zu einer sehr befriedigenden, für das Centrum gültigen Gleichung mit Lichtern, deren Dämmerungswerthe sich immer noch wie 1 : 40, in einigen Fällen sogar wie 1 : 80 verhielten.[1] — Als Fixirzeichen diente auch in diesen Versuchen — von einigen zu erwähnenden Ausnahmen abgesehen — ein schwarzes, das mittels eines sehr dünnen Fadens vor dem Beobachtungsobject angebracht war.

Die eben beschriebene Anordnung der Versuche bot zunächst die Möglichkeit einer Prüfung, auf die wir glaubten Werth legen zu müssen. Man kann nämlich gegen die in der gewöhnlichen Weise angestellten Beobachtungen, auch gegen unsere vorhin mitgetheilten, immer das Bedenken haben, dafs eine, vielleicht äufserst geringfügige Adaptation des Centrums bei Belichtung sehr schnell zerstört werde; wenn auch der Fleck bei Fixation der Marke verschwinde, so sei es doch jedenfalls sehr schwer zu sagen, ob er wirklich s o f o r t oder erst nach einer kurzen Fixationsdauer der Umgebung gleich erschienen sei. Um in dieser Hinsicht eine noch gröfsere Sicherheit zu erlangen, richteten wir den Versuch folgendermaafsen ein. Vor der oben erwähnten rothen Scheibe wurde noch eine ganz ebensolche, jedoch ohne Oeffnung, eine D e c k s c h e i b e, angebracht und zwar an einem beweglichen Arm. Das Beobachtungsobject war daher zunächst durch ein ganz gleichmäfsig rothes Feld ersetzt und konnte in einem beliebigen Augenblicke durch einen einfachen Handgriff eines Gehülfen für ganz kurze Zeit aufgedeckt werden. Die Fixirmarke

[1] Für das Verhältnifs der Dämmerungswerthe wurde nur ein Minimalwerth ermittelt; dies geschah so, dafs das gelbgrüne Licht durch einen im Nebenzimmer hinter der Oeffnung aufgestellten Episkotister abgeschwächt wurde, und zwar so weit, dafs bei mäfsig excentrischer Beobachtung der Fleck noch deutlich hell erschien. Bei den hier mitgetheilten Versuchen war dies noch der Fall, wenn das grüngelbe Licht auf $^1/_{40}$ resp. $^1/_{80}$ des für Helläquivalenz erforderlichen Werthes reducirt wurde.

befand sich natürlich vor der Deckscheibe, war also auch vor der Aufdeckung des eigentlichen Objects sichtbar. Der Versuch gestaltete sich demnach so, dafs zuerst die central gültige Gleichung mit dem Hellauge eingestellt und die dafür erforderliche Stellung der Lampe auf der Photometerbank abgelesen wurde. Es wurden zu diesem Behufe stets fünf Einstellungen gemacht. Danach wurde dann sogleich die Deckscheibe vorgeschoben. Nachdem dann das Dunkelauge von seinem Verbande befreit war, wurde immer bei geschlossenem Auge der Kopf in die richtige Stellung gebracht. Auf ein Avertissement des Gehülfen (Jetzt!) wurde das Auge geöffnet und sofort der Blick auf die Marke gerichtet. In diesem vorbereitenden Zeitraum wurde das Auge, wie wichtig ist zu beachten, nur von einem rein rothen Licht von verschwindend geringer „Weifsvalenz" getroffen. Gleich darauf (die Pause wird nur gerade so lang gemacht, als es für die sichere Einstellung der Blickrichtung erforderlich scheint) deckt der Gehülfe durch Entfernung der Deckscheibe das eigentliche Beobachtungsobject für zwei bis drei Secunden auf. Der Beobachter, der natürlich dabei die Fixation streng festzuhalten hat, giebt an, ob er den Fleck überhaupt und ob er ihn hell oder dunkel im Vergleich zu seiner Umgebung gesehen hat. — Dieser Modus der Beobachtung (wir nennen die betr. Versuche „Aufdeckungsversuche") bot überdies noch den Vortheil, dafs er gestattete, jeden Verdacht einer suggestiven Beeinflussung des Beobachters auszuschliefsen. Der Gehülfe hatte zu diesem Zwecke nur die Stellung der Lampe in einer dem Beobachter nicht bekannten Weise zu verändern. Der Beobachter wufste demgemäfs nicht, ob ihm eine richtige Hellgleichung vorgezeigt wurde, oder ob die gezeigte Einstellung in dem einen oder anderen Sinne hiervon abwich. Der Versuch dieser Art wurde in der Regel einige Male wiederholt, sodann wurden in der gewöhnlichen Weise einige Gleichungen für das Dunkelauge eingestellt, wobei mit möglichster Raschheit verfahren wurde; schliefslich wurde dann noch das Dunkelauge durch einen Aufenthalt von ca. 10 Minuten im hellen Zimmer in den Zustand der Helladaptation übergeführt und nochmals fünf Einstellungen gemacht. In einigen Fällen wurden auch eine Anzahl Aufdeckungsversuche mit dem helladaptirten Auge vorausgeschickt, um ein gewisses Maafs für die Sicherheit dieser Beurtheilung zu haben. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden

Tabellen enthalten. Und zwar sind die zunächst erhaltenen Zahlen alle so umgerechnet, dafs sie die Beleuchtungsstärke des umgebenden rothen Feldes (in einer willkürlichen Einheit) angeben. Nach der für paracentrale Theile geltenden Regel hätte das Dunkelauge den grüngelben Fleck in stark vermehrter Helligkeit sehen müssen. Es hätte also gröfsere Lichtstärken für das Feld fordern, resp. die dem Hellauge richtigen für zu dunkel erklären müssen. Die als Einstellung aufgeführten Zahlen sind stets das Mittel aus fünf Einstellungen.

5. Februar 1899.

Einstellung des linken helladaptirten Auges: 183.

Beurtheilungen des gleichen Auges in Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
172	Gleich
207	Hell
190	Gleich
155	Dunkel

Beurtheilung des rechten dunkeladaptirten Auges in Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
189	Hell
206	Hell
174	Gleich
160	Dunkel

Einstellung des rechten dunkeladaptirten Auges: 185.
Einstellung des gleichen Auges nach Helladaptirung: 185.

6. Februar 1899.

Einstellung des rechten helladaptirten Auges: 205.

Beurtheilung des linken dunkeladaptirten Auges in den Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
206	Hell
189	Hell
174	Dunkel (Spur)

Einstellung des dunkeladaptirten Auges: 204.
Einstellung des gleichen Auges nach Helladaptirung: 213.

7. Februar 1899.

Einstellung des linken helladaptirten Auges: 186.

Beurtheilung des gleichen Auges in Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
172	Gleich
155	Gleich
207	Hell
155	Dunkel ?
227	Hell
139	Dunkel (stark)

Beurtheilung des rechten dunkeladaptirten Auges in den Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
189	Gleich
215	Hell
174	Dunkel
206	Hell?

Einstellungen des dunkeladaptirten Auges: 184.
Einstellung des gleichen Auges nach Helladaptirung: 191.

9. Februar 1899.

Einstellung des linken helladaptirten Auges: 85.

Beurtheilung des gleichen Auges in Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
73	Dunkel
98	Hell
92	Gleich

Beurtheilung des rechten dunkeladaptirten Auges in den Aufdeckungsversuchen:

Helligkeit des Feldes	Das Feld erscheint
92	Hell
87	Gleich (Hell?)
82	Gleich

Einstellungen des rechten dunkeladaptirten Auges: 75,5.
Einstellung des gleichen Auges nach Helladaptirung: 74,3.

Die Betrachtung der Tabelle lehrt, dafs die vom Dunkelauge gemachten Einstellungen von denjenigen des Hellauges keine deutliche Abweichung zeigen. Ebenso ergeben die Aufdeckungsversuche, dafs die für das Hellauge hergestellten Gleichungen für das Dunkelauge zutreffen, dafs bei einer Steigerung der Feldhelligkeit um ca. 10 %, wie sie ausreicht, um dem Hellauge

die Gleichung (im Aufdeckungsversuch) als unzutreffend erscheinen zu lassen, auch das Dunkelauge sofort das Feld zu hell sieht. Wir hätten noch hinzuzufügen, dafs auch eine Farbendifferenz (verminderte Sättigung des Flecks) niemals bemerkt wurde.[1] Die Versuche zeigten also mit voller Entschiedenheit, dafs auch hier trotz der enormen Differenz der Dämmerungswerthe die Gleichungen central durch langen Dunkelaufenthalt nicht modificirt werden.

Bei diesen Versuchen können wir auch eine Angabe über die benutzten Lichtstärken machen, die ihre annähernde Reproducirung für andere Beobachter ermöglicht. Bei der als 207 bezeichneten Beleuchtung nämlich erschien das rothe Feld gleich dem rothen Papier der Rothe'schen Sammlung, wenn dieses von einer Amylacetat-Lampe aus 64 cm Entfernung beleuchtet wurde. Dies ist eine Helligkeit, welche die Fixirung selbst einer sehr kleinen schwarzen Marke noch mit Sicherheit gestattet.

III.

Dafs es ein centrales Feld giebt, für welches die bei Helladaptation eingestellten Gleichungen selbst nach der längsten Dunkeladaptation gültig bleiben, und zwar auch bei der enormen Differenz der Dämmerungswerthe, die hier zur Verwendung kam, schien uns hiernach in zweifelloser Weise festgestellt. Die demgemäfs nun anschliefsenden Versuche über die Ausdehnung dieses Feldes wurden in der folgenden Weise angestellt. Die oben erwähnte mit der Oeffnung versehene rothe Scheibe war auf einem starken Träger befestigt, der seinerseits an dem für die Verschiebung bestimmten Apparat angebracht war. Im Wesentlichen bestand dieser aus einem starken Messingstabe, der mittels einer Tangentenschraube um eine Axe gedreht

[1] In einigen Vorversuchen schien allerdings eine kleine Sättigungsdifferenz bemerkbar zu werden. Stets aber stellt sich als Grund der Erscheinung der Fehler heraus, dafs schon die Hellgleichung nicht vollkommen zutreffend war. Bei dem kleinen Felde und unmittelbar nach dem Verweilen im hellen Licht ist die Empfindlichkeit gegen Sättigungsdifferenzen keine sehr grofse. Es war daher zweckmäfsig, die Helläquivalenz der Lichter (qualitativ) auf etwas gröfserem Felde und nach einem Dunkelaufenthalte von einigen Minuten zu prüfen. Nachdem die Absorptionsflüssigkeit und die Beleuchtungsart des Papiers unter Beobachtung dieser Vorsicht geregelt waren, hat sich eine Sättigungsdifferenz für das dunkeladaptirte Centrum nie beobachten lassen.

wurde und dessen Drehungen an einer Kreistheilung abzulesen waren. Der Apparat konnte in verschiedener Lage benutzt werden, sowohl mit vertiealer Drehungsaxe, somit horizontaler Sehiebung des Beobaehtungsobjects, als mit horizontaler — natürlich frontaler — Axe, also vertiealer Schiebung des Objeets. Natürlieh war Sorge zu tragen, dafs die Verlängerung der betr. Axe dureh das beobaehtende Auge ging, was dureh den verwendeten Kopfhalter mit grofser Annäherung garantirt wurde. — Wie naeh den vorhin erwähnten Vorversuchen zu erwarten, gelang die Grenzbestimmung naeh langer Adaptation mit verhältnifsmäfsig grofser Sieherheit. Das genauere Verhalten war dabei das folgende. Indem der Fleek langsam vom Fixationspunkt, natürlieh bei streng festgehaltener Fixation, entfernt wurde, fand sich ein bestimmter Punkt, bei dessen Uebersehreitung der Fleck anders als die Umgebung auszusehen begann. Er ersehien dann zugleieh heller und weifslieher. Bei den relativ geringen Abständen vom Centrum ist die Sehschärfe noch grofs genug, um bemerken zu lassen, dafs dieses Aussehen zuerst am Rande des Flecks auftritt und dann erst bei noch weiterer Absehiebung desselben seine ganze Ausdehnung ergreift. Jedesmal wurde nun der äufserste Abstand gesueht, bei dem der g a n z e Fleek noeh der Umgebung vollkommen gleich ersehien. Bei einigermaafsen rasehem Verfahren liefs sieh dies mittels weniger Hin- und Herbewegungen der Sehraube gut einstellen und es zeigte sieh insbesondere, dafs die Resultate nieht in dem Maafse, wie man im Voraus hätte befürehten können, durch die natürlich im Verlaufe des Versuehes zurüekgehende Adaptation beeinträehtigt werden. Vielmehr gelang es immer, vier bis fünf Einstellungen zu maehen, die gut unter einander übereinstimmten und kein Hinausrüeken der Grenze erkennen liefsen. Hinzuzufügen ist aber noeh, dafs bei weiterer Entfernung des Fleeks von der Fixirmarke nochmals ein Punkt bemerkbar wurde, in dem sieh mit einer annähernd ähnlichen Sehärfe das Aussehen des Fleeks fast plötzlich änderte. Die matt weifsliehe Erseheinung desselben erfuhr hier eine rapide Veränderung durch das Auftreten einer sehr beträehtliehen Helligkeitssteigerung, so dafs man von einem förmliehen Aufleuchten des Flecks reden kann.

Die Ergebnisse dieser Versuehe sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefafst. Die Zahlen sind sämmtlieh Mittelwerthe aus fünf Einstellungen und geben in Winkelminuten die

äufserste Stellung an, bei der Fleck und Umgebung vollkommen gleich erschienen. Die Bezeichnungen Nasal und Temporal beziehen sich auf das Gesichtsfeld (nicht die Netzhaut).

Grenzen des des Purkinje'schen Phänomens ermangelnden Bezirks.

	Nr.	Datum des Versuchs	Nasal	Temporal	Oben	Unten	Bemerkungen
Rechtes Auge	1.	30. XI. 98	43'	58'			Dunkler Fixirpunkt. Dunkeladaptation 7 1/2 bis 9 1/2 Stunden. (1.–5.)
	2.	1. XII. 98	44'	54'			
	3.	2. XII. 98	42'	58'			
	4.	3. XII. 98	48'	59'			
	5.	5. XII. 98	45'	51'			
	6.	7. XII. 98	41'	50'			Heller Fixirpunkt. 7 St. Adaptation.
	7.	9. XII. 98	41'	47'			Dunkler Fixirpunkt.
	8.	2. VI. 99	36'	42'			Andere grüne Flüssigkeit. Dunkler Fixirpkt. (8.–9.)
	9.	4. VI. 99	33'	39'			
		Mittel:	41'	51'			
Linkes Auge	1.	29. III. 99	40'	29'			2—3 Stunden Adaptation. (1.–3.) — Fixirpunkt dunkel (1.–5.)
	2.	29. III. 99	45'	32'			
	3.	6. V. 99	40'	30'			
	4.	7. V. 99	37'	28'			6 Stunden Adaptation
	5.	3. VI. 99	42'	40'			5 Stunden Adaptation
		Mittel:	41'	32'			
R. Auge	1.	21. XII. 98			42'	28'	8—10 Stunden Dunkeladaptation. (1.–3.)
	2.	22. XII. 98			38'	27'	
	3.	23. XII. 98			38'	26'	
		Mittel:			39'	27'	

Um die Ausdehnung desjenigen Bezirks zu berechnen, der der hier in Betracht kommenden Function ermangelt, ist zu

berücksichtigen, dafs die Verschiebungen in entgegengesetzten Richtungen von demselben Punkte aus (Lage der Fixirmarke in der Mitte des Flecks) gerechnet sind, und dafs, wie erwähnt, die äufserste Einstellung gesucht wurde, bei welcher anzunehmen war, dafs der Fleck noch g a n z auf dieses Gebiet fiel. Der Summe der gemessenen Verschiebungen ist somit noch die Breite des Flecks mit 0,25 ° hinzuzuzählen. Wir erhalten so für die horizontale Ausdehnung 107 ′ im rechten, 88 ′ im linken Auge, im verticalen Durchmesser (für das rechte Auge) 81 ′.

Der Bezirk ist, wie man sieht, relativ klein, nicht kreisrund, sondern horizontal von gröfserer Ausdehnung als vertical. Beachtenswerth ist die Lage des Fixationspunktes in dem betr. Bezirk: sie ist keine centrale. Das Gleiche ist auch bei analogen Beobachtungen schon bemerkt worden.[1] Während sich aber damals zunächst die Anschauung darbot, dafs hier ein symmetrisches Verhalten vorläge und der betr. Bezirk sich beiderseits temporal weiter erstrecke als nasal, ist hier die Abweichung eine gleichliegende. Man könnte sich also vorstellen, dafs annähernd identische Bezirke rechter- und linkerseits des Dunkelapparats ermangeln, dafs aber nicht gerade mit der Mitte dieses Bezirks fixirt wird. Eine bestimmte Regel läfst sich natürlich umsoweniger aufstellen, als die Erstreckung hier in beiden Augen ungleich erscheint.

Wir haben uns bemüht dem Versuche eine Form zu geben, in der er nicht gar zu umständlich ist, so dafs seine Ausführung durch eine etwas gröfsere Zahl von Personen einigermaafsen durchführbar erscheint. Zu diesem Zwecke wurde in Aquarellfarben ein Gelbgrün hergestellt, welches einem rothen Papier der Rothe'schen Sammlung für den Deuteranopen genau gleich erschien und zwar bei Kerzenbeleuchtung. Auch so konnten helläquivalente Farben gewonnen werden, deren Dämmerungswerthe ungemein stark verschieden waren. Von dem grüngelben Papier wurden kleine runde Scheiben ausgestanzt und auf den rothen Grund aufgeklebt. Aus einer Entfernung von ca. 80 cm beobachtet erschien das grüne Scheibchen unter einem Gesichtswinkel von etwa $^1/_3$ Grad. Das Object wurde in einen Rahmen geschoben, dergestalt, dafs sich vor ihm ein schwarzer Seiden-

---

[1] Vgl. J. v. Kries. Ueber die absolute Empfindlichkeit der verschiedenen Netzhauttheile im dunkeladaptirten Auge. *Zeitschr. f. Psychol.* 15, 327 und Samojloff. Zur Kenntnifs der nachlaufenden Bilder. *Zeitschr. f. Psychol.* 20, 124.

faden befand mit einem als Fixirmarke dienenden Knötchen. Die von dem Einen von uns hergestellte Gleichung erwies sich stets als auch für andere Deuteranopen mit gröfster Annäherung zutreffend. Es war daher nur noch zu ermitteln, ob diese Gleichung auch nach langer Dunkeladaptation zutrifft. Dies kann verhältnifsmäfsig leicht geprüft werden, da es nur nothwendig ist, während der Nacht einmal eine Kerze zu entzünden (natürlich unter den selbstverständlichen Vorsichtsmaafsregeln, um die gewonnene Adaptation nicht zu beeinträchtigen) und zu prüfen, ob die Gleichung alsdann zutrifft. Der Versuch ist in dieser Weise von zwei anderen Deuteranopen gemacht worden. Auch diese konnten constatiren, dafs für das Dunkelauge der Fleck bei peripherer Betrachtung ungemein hell erscheint. Bei Fixation der Marke sahen aber auch sie diese Differenz vollkommen verschwinden. Der Eine gab an, dafs der Fleck verschwinde, der Andere meinte ihn sogar central etwas dunkler zu sehen. Kann auch die Bedeutung derartiger Versuche nicht mit der von messenden verglichen werden, so zeigen sie doch sicher, dafs auch hier von Purkinje'schem Phänomen nichts zu bemerken war, unter Bedingungen, die für seine Beobachtung gewifs noch viel günstiger waren, als sie beim Trichromaten überhaupt erreicht werden können.

IV.

Wiewohl die Bedingungen für die analogen Prüfungen beim Trichromaten aufserordentlich viel ungünstiger als beim Dichromaten liegen, erschien es doch geboten, die betr. Versuche auch anzustellen, schon im Hinblick auf die positiven Befunde, die hier angegeben worden sind. Die Beobachtungen dieser Art hat der Aeltere von uns ausgeführt und zwar in der folgenden Weise. Da hier auf die Benutzung spectraler Lichter jedenfalls nicht verzichtet werden durfte, anderseits bei der erforderlichen Kleinheit der Felder die Verwendung der Fleckmethode auch höchst wünschenswerth erschien, so war für die gestellte Aufgabe das gegebene Verfahren dies, dafs der Helmholtz'sche Farbenmischapparat mit einem Lummer'schen Würfel versehen wurde. Dieser, nach unseren Angaben von der Firma Schmidt & Haensch angefertigt, versetzte einen kleinen von dem Lichte des einen Collimators erleuchteten Kreis in die Mitte eines von dem Lichte des anderen Collimators erhellten Feldes. Fleck und

Umgebung stofsen dabei in der dem LUMMER'schen Würfel eigenthümlichen tadellosen Weise aneinander. Der Durchmesser des inneren Feldes betrug hierbei 0,5°. Dem umgebenden ringförmigen Felde konnte bei den Dimensionen des Apparates eine Gröfse von etwa 2° gegeben werden. Die Einrichtung wurde endlich noch durch ein an der Irisblende angebrachtes Fadenkreuz vervollständigt, welches die Fixationsmarke zu geben hatte.

Die sonst benutzten Einrichtungen wurden aufserdem noch in einer wichtigen Beziehung modificirt. Es ist, wie wiederholt bemerkt worden ist, bei allen längerdauernden Versuchen an Farbenmischapparaten eine sehr lästige Schwierigkeit, dafs die beiden Collimatoren ihr Licht von verschiedenen Lampen bekommen. Da man nun der Constanz der Lichtquellen, resp. worauf es wesentlich ankommt, eines constanten Verhältnisses zwischen beiden nicht sicher ist, so kommt auch in die Gleichungen eine Unsicherheit hinein, deren Nachtheile immer durch besondere Verfahrungsweisen unschädlich gemacht werden müssen. Im gegenwärtigen Falle konnte, da keine grofsen Helligkeiten erfordert wurden, die gleiche Lichtquelle zur Erleuchtung beider Collimatoren verwendet werden. Zu diesem Behufe wurde ein Auerbrenner mit Milchglasglocke in ein Gehäuse aus Eisenblech eingeschlossen, das mit zwei Oeffnungen versehen war, so dafs das Licht auf zwei vor den beiden Collimatoren des Farbenmischapparates aufgestellte Spiegel fiel. Die Menge des im Zimmer zerstreuten Lichtes war hierbei immer noch gering; ein am Ocularrohr angebrachter innen geschwärzter Pappkasten schützte den Beobachter sehr vollständig vor demselben.

Die ersten Versuche, die mit dieser Einrichtung angestellt wurden, betrafen die Vergleichung eines homogenen Natrium-Gelb mit einem aus Roth (Lithium) und Gelb-Grün (Thallium) gemischten Gelb. Es ist schon früher angegeben worden, dafs solche Lichter, wenn sie helläquivalent sind, erheblich ungleiche Dämmerungswerthe besitzen. Das Verhältnifs kann nach einer Ueberschlagsberechnung (die freilich die Maculapigmentirung aufser Acht lassen mufs) auf 1 : 6 veranschlagt werden.

Die Versuche dieser Art wurden mit zweistündiger Adaptationsdauer gemacht. Da hier die Beobachtungen nur mit dem linken Auge angestellt werden konnten, so enthalten

die nachfolgenden Zusammenstellungen immer die unmittelbar vor der Dunkeladaptation gemachten Einstellungen, sodann die von dem dunkeladaptirten Auge gemachten und schliefslich die von dem gleichen Auge erhaltenen, nachdem es wieder für ca. 10 Minuten für Hell adaptirt worden war.

Dem homogenem Gelb gleich erscheinende Menge des Roth-Grün-Gemisches.

I. (11. October 1899.)

Helladaptirt vorher			72,1
Dunkeladaptirt	71,3		
	67,2		
	68,5	Mittel:	70,0
	71,6		
	71,2		
Helladaptirt nachher			70,5

II. (12. October 1899.)

Dunkeladaptirt	67,2		
	67,7	Mittel:	66,8
	65,0		
	67,3		
Helladaptirt nachher			65,2

III. (16. October 1899.)

Helladaptirt vorher			65,7
Dunkeladaptirt	66,1		
	69,0		
	68,8	Mittel:	67,2
	68,1		
	64,2		
Helladaptirt nachher			72,4

IV. (16. October 1899.)

Helladaptirt vorher			71,6
Dunkeladaptirt	69,5		
	71,4		
	68,6	Mittel:	70,4
	71,2		
	71,8		
Helladaptirt nachher			70,1

V. (19. October 1899.)

Helladaptirt vorher			66,6
Dunkeladaptirt	65,5		
	66,2		
	65,1	Mittel:	66,5
	68,8		
	67,0		
Helladaptirt nachher			67,9

Im Sinne der für die Peripherie geltenden Regel wäre es gewesen, wenn die für die Roth-Grün-Mischung hergestellten Spaltweiten durch die längere Dunkeladaptation heruntergegangen wären. Es liegt, wie man sieht, in den Zahlen keinerlei Hindeutung auf ein solches Verhalten.

So wenig es auch wahrscheinlich war, dafs durch noch längere Bemessung des Dunkelaufenthaltes noch etwas zur Beobachtung kommen würde, wovon nach zwei Stunden keine Spur zu entdecken war, so wurde doch auch noch in einigen weiteren Versuchen die Adaptation auf ganz lange Zeiten (ca. 10 Stunden) in der vorher bereits erwähnten Weise (Nachtadaptation) erstreckt.

Ein Versuch dieser Art, bei dem gleichfalls homogenes und gemischtes Gelb zu vergleichen war, lieferte folgendes Resultat, für dessen tabellarische Darstellung nur zu beachten ist, dafs hier der Fleck mit dem Gemisch, der Ring mit dem homogenen Gelb erleuchtet war, demzufolge hier die Lichtstärke des letzteren variirt und eingestellt wurde. Nach der für paracentrale Theile geltenden Regel hätte sie durch Dunkeladaptirung ansteigen müssen.

Menge des einer constanten Roth-Grün-Mischung gleich erscheinenden homogenen Gelb.

4. Januar 1900.

Helladaptirt vorher			37,3
Dunkeladaptirt (ca. 10 Stunden)	36,0		
	38,8		
	37,0	Mittel:	37,6
	36,9		
	39,5		
Helladaptirt nachher			37,4

Es wurden schliefslich noch Versuche mit zwei verschiedenen Weifsmischungen (Roth-Blaugrün und Gelb-Blau), gleichfalls mit Nachtadaptation, gemacht, ein Verfahren, das zwar im Voraus noch weniger Chance bot, das wir aber nicht übergehen wollten, da es gerade das von Tschermak benutzte ist. In zwei Versuchen fand sich hier Folgendes:

Mengen des Gelb-Blau-Gemisches, das einem constanten aus Roth und Grün gemischten Weifs gleich schien.

I. (3. Januar 1900.)

Helladaptirt vorher			33,1
Dunkeladaptirt	33,0		
	34,6		
	32,5	Mittel:	33,3
	32,2		
	34,4		
Helladaptirt nacher (nach längerem Aufenthalt im Freien)			33,8

II. (2. Januar 1900.)

Beleuchtetes Papier statt der Spiegel. Lichtstärke der Felder sehr gering.

Helladaptirt vorher			140,6
Dunkeladaptirt	139		
	140		
	163 (?)		
	150		
	129	Mittel:	141,8
	138		
	138		
	149		
	121 (?)		
	151		
Helladaptirt nachher.			146,7

Wir wollten, nachdem wir in den Besitz dieser in vieler Beziehung den früher benutzten Anordnungen überlegenen Einrichtung gekommen waren, nicht unterlassen, sie auch zu Beobachtungen über das dichromatische Sehorgan zu benutzen. Eine Messung des Bezirks war hier allerdings nicht wohl ausführbar. Dagegen gestattet der Apparat, zwei beliebig zu wählende

spectrale Lichter nach der Fleckmethode zum Vergleich zu bringen, und so konnten denn helläquivalente Lichter mit noch erheblich stärkerem Unterschied der Dämmerungswerthe, als in den früheren Versuchen, benutzt werden.

Wir wählten hierzu die Combination von Lithium-Roth mit einem Gelbgrün von etwa 540 $\mu\mu$. Dieses Lichterpaar giebt bei centraler Beobachtung und helladaptirtem Auge noch eine tadellose Gleichung; nimmt man die Intensitäten ziemlich gering, so gelingt es, den gelbgrünen Fleck auf dem rothen Grunde fast zum völligen Verschwinden zu bringen. Ueber das Verhältnifs der Dämmerungswerthe zweier solcher Lichter können wir keine numerische Angabe machen, da der Dämmerungswerth des Li-Roth so gering ist, dafs er sich nicht mehr bestimmen liefs.[1] Er dürfte aber wohl sicher weniger als den 200sten Theil von dem des Gelbgrün betragen; dem dunkeladaptirten Auge erscheint daher die Anordnung wie ein leuchtender Fleck auf tiefdunkelm Grunde. Auch hier, wo die Gegensätze so sehr als möglich auf die Spitze getrieben sind, wurde die bei Helladaptirung gemachte Einstellung wiederholt nach längerer und kürzerer Dunkeladaptation geprüft und stets bei Fixation des Fadenkreuzes die Gleichung zutreffend gefunden.[2] Die Ausdehnung des Flecks betrug hier, wie vorher erwähnt, 0,5^{0}.

V.

Das Ergebnifs der obigen Mittheilungen kann kurz dahin zusammengefafst werden, dafs von der hier zum Gegenstand der

---

[1] Vgl. J. v. Kries und W. Nagel. *Zeitschr. f. Psychol.* 12, S. 57.

[2] Die einzige Ausnahme, die bemerkt worden ist, soll, wiewohl sie auf einem Versuchsfehler beruht haben dürfte, nicht unerwähnt bleiben. Einmal nämlich sah, nach Nachtadaptation, das Dunkelauge den Fleck in verminderter Sättigung. Die Controlbeobachtung mit dem anderen Auge zeigte aber, dafs auch dieses den Fleck blasser sah. Da in diesem Falle auch das letztere Auge in der Frühe eines dunkeln Wintertags nur geringe Mengen von Lampenlicht, Tageslicht so gut wie gar nicht erhalten hatte, so haben wir uns die Frage vorgelegt, ob die Verdunkelung auch des anderseitigen Auges etwa von Einflufs auf die Erscheinung sei. Die Wiederholung des Versuchs mit der Vorsicht, dafs das eine Auge in der gewöhnlichen Weise vollständig vor Licht geschützt war, das andere auch nur minimale Mengen erhielt, ergab aber nur die Gültigkeit der Gleichung für beide Augen. Das Auftreten des Sättigungsunterschiedes ist also ein vereinzelter Fall geblieben, den wir mit der Adaptation in keine erkennbare Beziehung bringen konnten.

Untersuchung gemachten Erscheinung in einem kleinen centralen Netzhautbezirk in der That auch nicht die geringste Spur nachgewiesen werden konnte. Erwägt man, dafs es sich dabei um eine Erscheinung handelt, die peripher von einer so augenfälligen Deutlichkeit ist, dafs sie selbst bei sehr reducirtem Betrage nicht übersehen werden könnte, so wird man nicht leugnen können, dafs die Thatsachen auf irgend eine im Centrum vollkommen fehlende Besonderheit hinweisen, mag nun diese in einem anatomischen Gebilde, einer chemisch definirten Substanz oder worin sonst immer zu suchen sein. Für die allgemein von uns vertretene Anschauung, dafs der Mangel der Stäbchen und des Purpurs in dieser Thatsache zum Ausdruck komme, und dafs andererseits die purpurhaltigen Stäbchen die Organe des central vermifsten charakteristischen Dämmerungssehens seien, wird man hierin wohl zunächst bestätigt finden dürfen. Dagegen dürften die Thatsachen vorderhand noch nicht genügen, um diese Auffassung in speciellerer Weise auszuführen und gewisse schon mehrfach von uns als noch offen bezeichnete Fragen zu entscheiden. Denkbar erscheint es ohne Zweifel, dafs aufserhalb jener engen in den Tabellen dargestellten Grenzen einzelne versprengte Stäbchen aufzutreten beginnen, und dafs die weitere Begrenzung, jenseit deren ein „Aufleuchten“ des gelbgrünen Flecks bemerkt wurde, den Beginn einer regelmäfsigen Gruppirung der Stäbchen um die Zapfen (Stäbchenkränze) bezeichnet. Man wird zugeben müssen, dafs nach dem, was zur Zeit bekannt ist, die geringe Gröfse des gefundenen Bezirks einigermaafsen, wenn auch gewifs nicht entscheidend, gegen diese Auffassung spricht. In der That giebt Koster die Gröfse des ganz stäbchenfreien Bezirks auf etwa 2^0 an, während wir horizontal nur 1,4 resp. 1,8, vertical noch weniger finden. Doch ist wohl das Material sowohl auf der anatomischen wie auf der physiologischen Seite noch zu spärlich, als dafs dieser Abweichung sehr grofse Bedeutung beigemessen werden könnte. — Neben dieser ersten Auffassung wird aber zur Zeit jedenfalls auch die andere, von dem Einen von uns schon mehrfach angedeutete Möglichkeit im Auge zu behalten sein, dafs für das Dämmerungssehen nicht sowohl die Stäbchen als der Sehpurpur die unerläfsliche Bedingung sei. Die objectiv feststellbaren Thatsachen lehren ja, dafs zweierlei Dinge, die Sehpurpurbildung und die Stäbchen, central fehlen; nehmen wir an, dafs der Purpur

im Wesentlichen dazu bestimmt ist, als Sehstoff in den Stäbchen zu functioniren, so wird man danach wohl erwarten können, dafs die innere Grenze der Purpurbildung mit derjenigen der Stäbchen annähernd zusammentrifft, ohne doch eine ganz genaue Coincidenz als selbstverständlich postuliren zu können. Stellt man sich also vor, wofür ja manche Erscheinungen sprechen, dafs ein aufserhalb der Stäbchen befindlicher Sehpurpur auch auf Zapfen erregend einwirke, so könnte man wohl daran denken, dafs die innere Grenze durch das centrale Fehlen der Purpurbildung gegeben sei und in einem etwas gröfseren Abstande vom Centrum das Auftreten der ersten Stäbchen das „Aufleuchten" bewirke. Es wäre ohne Zweifel verfrüht, diese Vorstellungen gegenwärtig eingehender zu verfolgen, umsomehr als sich hoffen läfst, dafs wir von anatomischer Seite über die Gröfse des stäbchenfreien Bezirks, von physiologischer über die Gröfse des Feldes, in dem ein Fehlen des Dunkelapparates anzunehmen wäre, noch Weiteres erfahren werden.

Kommen wir nach unseren Befunden nochmals auf die Angaben von Tschermak zurück, so wird zu sagen sein, dafs unsere Erfahrungen auch für jene scheinbar abweichenden ein gewisses Verständnifs eröffnen. Bei centraler Fixation eines Feldes von 2° Durchmesser mit verticaler Trennungslinie würde ein Uebergreifen des Objectes über den des Dunkelapparats ganz ermangelnden Bezirk zu erwarten sein, auch wenn wir annähmen, dafs die Gröfse dieses Bezirks und die Lage des Fixationspunktes in ihm, für T. genau die gleiche wäre wie für N. Es erscheint in der That recht denkbar, dafs T. durch „Compromifs-Einstellungen", vor denen Hering selbst so nachdrücklich gewarnt hat, getäuscht worden ist. Man wird danach eine Wiederholung seiner Versuche mit kleineren Feldern und nach der Fleckmethode sehr wünschen müssen. Selbstverständlich aber erscheint, namentlich bei der zweiten der vorhin erwähnten Auffassungen, wonach eine Spur der Dunkelfunction durch den Purpur auch ohne Stäbchen gegeben sein könnte, das Vorkommen erheblicher individueller Unterschiede nicht ausgeschlossen. Solche zu erörtern wird indessen erst angezeigt sein, wenn sie sicher nachgewiesen sind, was unseres Erachtens gegenwärtig noch nicht gesagt werden kann.

Es sei uns aber hier zum Schlusse gestattet, noch eine allgemeine Bemerkung über die Auffassung und Deutung der

hierhergehörigen Erscheinungen anzuknüpfen. Es wäre unseres Erachtens verkehrt, aus jeder Inconstanz der optischen Valenzen oder jeder Beeinflussung von Mischungsgleichungen durch die Adaptation auf ein combinirtes Functioniren zweier Apparate schliefsen zu wollen. Man wird vielmehr wohlthun zu beachten, dafs eine absolute Constanz der Valenzen überhaupt nicht als Postulat irgend einer theoretischen Anschauung gelten kann.

Die Gewohnheit, in einem völlig abstracten Sinne von Sehsubstanzen und Valenzen zu reden, ist wohl nicht ohne Einflufs darauf gewesen, wenn man geglaubt hat, eine solche erwarten zu dürfen. Auf dem Boden einer solchen, die realen Verhältnisse doch wohl weniger als zweckmäfsig berücksichtigenden Anschauung hat man gelegentlich eine Veränderung der Valenzen geradezu einer Veränderung der Atomgewichte verglichen. Tschermak hat mit Recht darauf hingewiesen, dafs bei gefärbten Stoffen schon die Abhängigkeit der Absorptionsverhältnisse von der Concentration zu beachten ist; wird ein Lichterpaar so abgeglichen, dafs bei einer bestimmten Concentration von beiden gleiche Energiemengen absorbirt werden, so kann es sein, dafs dies bei einer anderen Concentration des absorbirenden Körpers nicht mehr zutrifft. Macht man sich einmal klar, dafs das, was wir Valenz nennen, ein Ergebnifs immer sehr zahlreicher verschiedener Factoren ist, so wird man auch die Constanz der Valenzen für den trichromatischen Apparat nicht ohne Weiteres als eine absolute postuliren wollen. Für die Dämmerungswerthe liegen die Dinge ähnlich. Auch hier ist zwar eine Constanz derselben in erster Annäherung gefunden worden, aber ob diese Constanz wirklich als eine absolute genommen werden darf, das kann doch mit gutem Grunde bezweifelt werden. Die Bedeutung einer physikalischen Constanten im strengen Sinne des Wortes kann naturgemäfs ein derartiger physiologischer Werth nicht haben.

Man wird vielleicht fragen, ob denn nicht durch eine solche Vorstellung den Argumenten, auf die die Stäbchentheorie überhaupt gestützt wurde, der Boden entzogen wird. Wir glauben aber nicht, dafs man dies sagen kann. Denn es wird eben immer ein fundamentaler Unterschied bleiben, ob die Verhältnifszahlen physiologischer Aequivalenz sich um einige Procente ändern oder ob sie in eine ganz andere Gröfsenordnung rücken, wie dies in denjenigen Fällen geschieht, wo uns der

Schlufs auf das Eintreten eines anderen Apparates gerechtfertigt erscheint.

Wer die Erscheinungen nur aus den relativ geringen Andeutungen kennt, in denen sie meist beim Trichromaten beobachtet werden, der wird immer in Gefahr sein, sich hiervon eine durchaus unzutreffende Vorstellung zu machen. Eine solche wird noch näher gelegt durch die sehr unbestimmte Formulirung, dafs zwischen dem Netzhautcentrum und der Peripherie ein nur quantitativer Unterschied bestehe. Denn gesetzt auch, dafs dies richtig wäre (wir haben uns ja vorderhand nicht davon überzeugen können), so wird man eben doch berücksichtigen müssen, von welchem Betrage solche quantitative Unterschiede sind. Blut und Wasser zeigen, wenn man so will, in ihrer Fähigkeit Sauerstoff aufzunehmen auch nur quantitative Unterschiede. Man wird aber wohl im Allgemeinen die Berechtigung anerkennen müssen, aus quantitativen Unterschieden eines Erfolges auf einen qualitativen Unterschied in den Bedingungen zu schliefsen.

(Aus dem Physiologischen Institut zu Freiburg i. Br.)

Ueber die Abhängigkeit der Dämmerungswerthe vom Adaptationsgrade.

Von

J. von Kries.

Seit den ersten hierher gehörigen Beobachtungen von Hering und Hillebrand sind in einer gröfseren Anzahl von Versuchsreihen diejenigen Werthe der verschiedenen Lichter ermittelt worden, die ich als Dämmerungswerthe bezeichnet habe; es sind dies, rein empirisch ausgedrückt, die Helligkeitswerthe, die den verschiedenen Lichtern zukommen, wenn sie bei dunkeladaptirtem Auge und in so geringer Stärke angewandt werden, dafs sie farblos erscheinen. Theoretisch sind sie nach der von mir vertretenen Anschauung die Reizungswerthe für den Dunkelapparat des Auges (die purpurhaltigen Stäbchen) während Hering und Hillebrand ihre Werthe ursprünglich als die Weifswerthe im Hering'schen Sinne nahmen (und soweit ich sehe, wohl auch jetzt noch dafür halten). Es liegt in der Natur der Sache, dafs die Dämmerungswerthe nicht ohne ein gewifses Maafs von Dunkeladaption bestimmt werden können; denn Lichter, die so schwach sind, dafs ihre Farbe nicht erkannt werden kann, werden vom helladaptirtem Auge entweder garnicht oder so schwach und unsicher gesehen, dafs eine einigermaafsen zuverlässige Vergleichung nicht möglich ist. Da aber eine Dunkeladaptation von

5—10 Minuten, also eine noch keineswegs maximale, im Allgemeinen genügt, um eine Vergleichung dieser Art zu gestatten, so kann die Frage wohl aufgeworfen werden, ob die Dämmerungs-Aequivalenz zweier Lichter, die sich nach kurzer Adaptation findet, auch für beliebig weiter gesteigerte Adaptation gültig bleibt oder mit anderen Worten, ob die Dämmerungswerthe vom Grade der Adaptation irgendwie abhängen.

Zum Voraus läfst sich auf Grund des bisher Gefundenen nur das mit einiger Sicherheit sagen, dafs eine sehr erhebliche Abhängigkeit wohl nicht bestehen kann. Denn in den schon erwähnten Beobachtungen von Hering und Hillebrand, ebenso in einer grofsen Reihe folgender ist auf den Grad der Dunkeladaptirung keine besondere Rücksicht genommen worden. Dabei ist aber durchweg, schon wegen der zeitlichen Ausdehnung der Versuche, mit sehr verschiedenen Adaptationsgraden beobachtet worden. Bestand auch wohl im Allgemeinen die Voraussetzung, dafs die betreffenden Werthverhältnisse durch zunehmende Adaptation nicht beeinflufst würden, so hätte ein solcher Einflufs, wenn er von grofsem Betrage wäre, sich doch so störend einmischen müssen, dafs er kaum hätte unbemerkt bleiben können. Geringe Modificationen konnten natürlich ohne eine direct hierauf gerichtete Untersuchung, lediglich auf Grund der älteren Beobachtungen, die den Adaptationsgraden nicht besonders Rechnung trugen, nicht ausgeschlossen werden.

Theoretisch wurde der Gedanke an eine gewisse Abhängigkeit der Dämmerungswerthe vom Adaptationsgrade durch die folgende Betrachtung nahe gelegt.

Im Allgemeinen darf ja wohl angenommen werden, dafs die chemischen Wirkungen der verschiedenen Lichter den absorbirten Energiemengen proportional gesetzt werden können, eine Annahme, die sich in dem von A. König dargelegten Parallelismus der Dämmerungswerthe mit den Absorptionswerthen des Sehpurpurs bestätigt. Geht man von dieser Annahme aus, so ist aber klar, dafs sich das Verhältnifs der Dämmerungswerthe mit der Dicke der zu durchlaufenden Schicht oder mit der Concentration des Farbstoffs mehr oder weniger ändern mufs. In der That möge bei einer bestimmten Schichtdicke und Concentration das Licht A_1 im Verhältnifs $1 : \alpha_1$ das Licht A_2 im Verhältnifs $1 : \alpha_2$ geschwächt, also der Antheil $1 - \alpha_1$ resp. $1 - \alpha_2$

absorbirt werden, dann müfsten, um Gleichheit des chemischen Effects zu ergeben, die Energiemengen der beiden Lichter E_1 und E_2 so gewählt wurden, dafs

$$E_1\ (1 - \alpha_1) = E_2\ (1 - \alpha_2) \text{ oder}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{1 - \alpha_2}{1 - \alpha_1}$$

Man sieht nun sogleich, dafs, wenn dies der Fall ist, die beiden Lichter, nachdem sie die erste Schicht passirt haben, in dem Verhältnifs $\frac{E_1\ \alpha^1}{E_2\ \alpha_2}$ stehen, also auf die zweite Schicht nicht mehr in dem für gleiche Wirkung erforderlichen Verhältnifs der Stärke auftreffen. Vielmehr ist hier dasjenige Licht, welches relativ stark absorbirt wird, schon zu schwach geworden. So würde also in unserm Falle z. B. ein gelbes und blaues Licht so gewählt werden können, dafs sie in einer ersten Schicht gleichviel Energie einbüfsen. Hierzu müfste das gelbe Licht mit einem hohen, das blaue mit einem viel geringeren Energiewerth gewählt werden, weil dies letztere sehr viel stärker absorbirt wird. Nach dem Durchgang durch die erste Schicht ist nun aber das blaue Licht erheblich, das gelbe weit weniger geschwächt. In der folgenden Schicht wird daher das Aequivalenzverhältnifs nicht mehr bestehen, sondern das gelbe Licht im Uebergewicht sich befinden. Ebenso wird das Aequivalenzverhältnifs durch zunehmende Concentration modificirt werden. Allgemein kann man sagen, dass die Aequivalenzverhältnisse chemischen Effects sich unter der gemachten Voraussetzung mit zunehmender Schichtdicke oder Concentration zu Gunsten des schwächer absorbirten Lichtes ändern müssen.

Es ist bemerkenswerth, dafs die hiernach zu erwartenden Aenderungen der Dämmerungs-Aequivalenz nicht im Sinne des Purkinje'schen Phänomens, sondern im entgegengesetzten liegen.

Der experimentellen Prüfung der dargelegten Frage hat sich auf meine Veranlassung Herr Dr. Ricardo Stegmann gewidmet, in dessen Dissertation auch die Ergebnisse seiner Untersuchungen bereits bekannt gegeben sind. Da die Genauigkeit der Ver-

gleichung jedenfalls so hoch wie irgend möglich getrieben werden mufste, so konnte von vorn herein keine andere Methode als die des „Flecks“ in Betracht kommen, d. h. die Vergleichung eines von einem Lichte erhellten kleinen Feldes mit einem es rings umgebenden, anderes Licht aussendenden Grunde.

Von einer Benutzung zweier homogener Lichter mufste unter diesen Umständen, da die Felder auch nicht gar zu klein sein durften, abgesehen werden. Am geeignetsten erschien die Verwendung des von Polimanti und dann von Nagel benutzten gradsichtigen Spektroskops und zwar auch in ähnlicher Weise wie ihn Nagel anwandte. In bekannter Weise sah also das hinter dem Ocularspalt befindliche Auge die Objectivlinse des Apparates mit einem beliebig zu wählenden homogenen Lichte erleuchtet. Vor dieser wurde nun eine farbige Scheibe mit einer kleinen runden Oeffnung angebracht und es gab somit das Spektroskop das homogene Licht des Flecks, die Scheibe den umgebenden Grund. Um auch hier ein wenigstens annähernd homogenes Licht zu haben, wurde die Scheibe zunächst aus einem passenden farbigen Papier gefertigt, aufserdem aber von dem Lichte eines Auerbrenners in der Weise beleuchtet, dafs dieses eine der von Nagel beschriebenen Absorptionsflüfsigkeiten zu durchsetzen hatte. Sehr wesentlich war sodann ein weiterer Punkt der Einrichtung; um jede Unsicherheit durch Intensitätsschwankung der Lichtquellen zu vermeiden, wurde die Anordnung so getroffen, dafs derselbe Auerbrenner sowohl das Licht für das Spektroskop wie das für die Beleuchtung der Scheibe lieferte. Die Lampe war zu diesem Zweck in einen lichtdichten Blechkasten eingeschlossen, der nur durch zwei Ansätze Licht austreten liefs. Der eine führte dasselbe auf ein vor dem Spalte des Spektralapparatas aufgestelltes weifses oder graues Blatt, der andere (dieser zunächst noch durch das Strahlenfilter abgeschlossen) beleuchtete mittels eines Spiegels die farbige Scheibe. So war anzunehmen, dafs die nie ganz zu vermeidenden Helligkeitsschwankungen wenigstens die beiden zu vergleichenden Lichter gleichmäfsig treffen würden. Um eine weitgehende und völlig ungestörte Adaptation zu ermöglichen, war ferner durch besondere Vorrichtungen, deren Beschreibung wohl unterbleiben darf, Sorge getragen, dafs weder von dem einen noch von dem anderen Lichte etwas direct in das Auge des Beobachters dringen konnte.

Die den Versuchen gestellte Aufgabe bestand ja nun durchweg darin, den Fleck dem Grunde gleichzumachen und dadurch zum Verschwinden zu bringen. Dies wurde in der auch schon früher hier geübten Weise mittels eines dem Beobachter bequem zur Hand stehenden Schnurlaufs bewirkt, der den Collimatorspalt erweitern und verengern, somit die Helligkeit des Flecks variiren liefs. Besondere Aufmerksamkeit erforderte aber die allgemeine Einrichtung der Helligkeitsverhältnisse. Die für jede Versuchsreihe fixirte Helligkeit des Grundes mufste so gewählt werden, dafs das Licht, theoretisch gesprochen, unterhalb der Schwelle für den Zapfenapparat blieb, d. h. so dafs in keinem Falle seine Farbe gesehen werden konnte. Hierfür ist die Möglichkeit mit dem andersfarbigen Licht des Flecks eine vollkommene Gleichung herzustellen ein gutes Kriterium. Natürlich darf die Intensität aber auch nicht wesentlich geringer gewählt werden als so, das jene Forderung mit Sicherheit erfüllt ist: denn je schwächer man die Lichter nimmt, um so länger werden die Anfangsstadien der Adaptation, die, weil man überhaupt noch nicht beobachten kann, ganz aufser Spiel bleiben, um so mehr verringert man also die Aussicht, bestimmte Ergebnisse zu erhalten.

Für jede Versuchsreihe mufste im Voraus eine passende Lichtstärke des Grundes gesucht und fixirt werden. Dies geschah, nachdem die allgemeine Anordnung des Versuchs einmal gegeben war durch die Wahl des farbigen Papiers und die Mischung der Absorptionsflüfsigkeit.

Für das homogene Licht war es nützlich auch so zu Werke zu gehen, dafs die einzustellenden Spaltweiten weder zu grofs noch zu klein wurden, sondern sich etwa zwischen 20 und 40 Theilstrichen bewegten, da in diesem Falle die Sicherheit der Einstellung weitaus am gröfsten ist. Dies konnte in sehr einfacher Weise dadurch erreicht werden, dafs vor dem Collimatorspalt ein etwas helleres oder dunkleres Papier aufgestellt wurde.

Da positive Ergebnisse überhaupt nur bei Vergleichung sehr verschiedener Lichter zu erwarten waren, so ist eine umfangreichere Variirung in dieser Beziehung nicht vorgenommen worden; vielmehr wurden die Versuche auf eine Vergleichung von einem Orange und einem Blaugrün beschränkt, deren durchschnittliche Wellenlängen auf etwa 640⁰ und 480 $\mu\mu$ angegeben werden können.

Einigermaafsen fraglich erschien zum Voraus wie die einzelnen Beobachtungen am zweckmäfsigsten zeitlich anzuordnen sein würden. Ihre Zahl zu sehr zu häufen, etwa ohne Unterbrechung immer eine Einstellung an die andere zu schliefsen, erschien nicht empfehlenswerth, da der Gang der Adaptation dadurch zu sehr hätte beeinträchtigt werden können. Im Gange der Versuche selbst stellte sich schliefslich als das Beste heraus, in bestimmt fixirten Intervallen je eine Einstellung zu machen. Da selbst die einzelne Einstellung, wenn sie mit grofser Sorgfalt gemacht wird, eine recht befriedigende Genauigkeit erhält, so konnte der Gang der Aenderungen auf diese Weise relativ gut verfolgt werden. Auf die Vermehrung der Sicherheit durch die Berechnung von Mittelwerthen ist hierbei freilich verzichtet; diese ist aber, wenn der einzelne Werth sich auf einen bestimmten Zeitpunkt beziehen soll, nicht wohl durchzuführen. Zu bemerken ist hinsichtlich der Zeitverhältnisse noch Eines. Die Adaptationsdauer ist ja im Grunde immer von demjenigen Zeitpunkt an zu rechnen, in dem der Aufenthalt im verdunkelten Zimmer beginnt. Die von diesem Punkte ab gerechneten Zeiten sind jedoch in verschiedenen Versuchsreihen doch nicht untereinander vergleichbar, weil das Sehorgan sich beim Anfang des Versuchs in sehr verschiedenem Zustande befinden kann. Dies machte sich vornehmlich darin bemerklich, dafs bei bestimmten Lichtern die Adaptationsdauer, bei der eine Einstellung zuerst möglich war, und von der ab also der eigentliche Versuch begann, sich sehr merklich verschieden herausstellte. Hatten die Augen unmittelbar zuvor sehr helles Licht erhalten (so z. B. wenn der Versuch an hellen Tagen direct nach längerem Aufenthalt im Freien gemacht wurde), so mufste, bis die erste Einstellung möglich war, erheblich längere Zeit verstreichen, als wenn der Beobachter vorher in einem mäfsig erleuchteten Zimmer gewesen war. Aus diesem Grunde sind in den folgenden Zusammenstellungen die Zeiten immer von dem Zeitpunkt an gerechnet worden, in dem zuerst eine zuverlässige Einstellung ausführbar erschien. Natürlich kann auch auf diese Weise immer nur ein annähernd vergleichbarer, nicht ein wirklich genau übereinstimmender Anfangspunkt gewonnen werden. Wie lang nach dem Eintritt ins Dunkelzimmer dieser Punkt lag ist in den Tabellen jedesmal bemerkt worden.

Einer Erwähnung bedarf endlich auch noch die Wahl derjenigen Netzhautstelle, auf der die Beobachtung auszuführen war. Eine Fixirung in dieser Hinsicht erschien nothwendig, da es sich nicht von selbst versteht, dafs die Aequivalenzverhältnisse mit derjenigen Genauigkeit, die hier erfordert wird, für alle Netzhautpartien übereinstimmen, in der That auch die Versuche selbst alsbald lehrten, dafs Abweichungen ähnlicher Grössenordnung, wie die mit der Adaptation verknüpften, hier vorkommen. Aus diesem Grunde mufste denn der Versuchseinrichtung noch ein Fixirzeichen hinzugefügt werden; es wurde dazu ein Glühlämpchen kleinster Dimensionen benutzt, das durch sorgfältige Stromregulirung auf schwächste Rothgluth eingestellt wurde.

Uebrigens ist zu bemerken, dafs eine ganz strenge Fixation, da sie dem Sinne des Versuches nach nicht erfordert wurde und für die Genauigkeit der Vergleichung bekanntlich überaus nachtheilig ist, nicht verlangt und nicht eingehalten wurde. Eine systematische Durchprüfung der ganzen Netzhaut ist nicht vorgenommen worden; die Untersuchung erstreckte sich nur auf eine stärker excentrische Stelle etwa 20^0 nach oben im Gesichtsfeld gelegen und eine dem Centrum nähere in 4^0 Abstand.

Im ersteren Falle wurde dem Fleck eine Ausdehnung von 4^0, im letzteren eine kleinere von $2{,}5^0$ gegeben.

In Bezug auf die technische Ausführung der Versuche ist ferner noch hinzuzufügen, dafs die Beobachtungen durchweg nur mit einem Auge ausgeführt wurden. Nur dieses wurde auch einer möglichst hochgradigen Dunkeladaptation unterworfen. Dagegen wurde das andere verwendet, um die erforderlichen Ablesungen einerseits der Uhr, andererseits der eingestellten Spaltweiten auszuführen, wodurch es ermöglicht war, die Versuche allein, ohne Gehilfen durchzuführen.[1] Sowohl die neben dem Beobachter aufgehangene Uhr wie auch die Trommel, an der die Spalteinstellung abgelesen wird, konnten durch kleine Glühlämpchen beleuchtet werden; das Dunkelauge blieb natürlich während der (immer nur sehr kurzen) Stromschliessungen verdeckt.

Ehe ich zur Mittheilung der eigentlichen Versuchsergebnisse schreite, sei noch angeführt, dafs in einigen Controlversuchen

---

[1] In der Regel wurden übrigens gleichwohl die Ablesungen von einem Gehülfen besorgt.

der Fleck und Grund mit annähernd demselben blaugrünen Licht erleuchtet wurden. Es fand sich hierbei, dafs in einer sehr befriedigenden Weise und mit einer fast überraschenden Genauigkeit die Zahlen der Einstellung constant blieben, wie dies die in Tabelle 1 zusammengestellten Versuche zeigen.

Tabelle I.

Mengen des einem bestimmten Blaugrün als gleich eingestellten homogenen Blaugrün.

	Adaptationszeiten in Minuten von der ersten Einstellung an										Erste Einstellung nach Dunkelaufenthalt von
	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	
Eingestellte Spaltweiten I	21	21,5	22	21,5	22,5	21	21	22	21,5	21	5 Min.
II	35	34	35	33,5	34,5	33	35	34,5	33	33,5	10 „
III	18	18	18,5	18	17,5	18,5	18	17,5	17,5	18	5 „

Dabei mufs allerdings bemerkt werden, dafs, als diese Versuche angestellt wurde, der Beobachter schon durch eine recht erhebliche Zahl von Vorversuchen mit minder vollkommenen Methoden eine bedeutende Uebung gewonnen hatte.

Die eigentlichen, unserer Frage gewidmeten Versuche, bei Vergleichung des orangefarbenen Flecks mit blauer Umgebung und umgekehrt sind nun in den Tabellen II und III zusammengestellt.

Tabelle II.

Mengen des einem bestimmten Orange gleich erscheinenden homogenen Blaugrün (480 $\mu\mu$).

	Versuch	Adaptationszeiten in Minuten von der ersten Einstellung an											Erste Einstellung nach Dunkelaufenthalt von	Differenz zwischen erster u. letzter Einstellung in % des kleineren Werthes
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50		
Eingestellte Spaltweiten	I	18	—	21	21	22	22,5	24	25	26	28	27	9 Min.	50 %
	II	12	—	13,5	13,5	15,5	15	16	15,5	16	16	15,5	15 „	29 „
	III	22,5	22,5	—	—	26	27	28	30	30	30,5	30	12 „	33 „
	IV	27	—	27,5	29	30	33	33,5	35	36	35,5	36	10 „	33 „
	V	24	23,5	24	26	27	26,5	27	28	29,5	30	29,5	6 „	23 „

Tabelle III.

Mengen des einem bestimmten Blaugrün gleich erscheinenden homogenen Orange (640 $\mu\mu$).

	Versuch	Adaptationszeiten in Minuten (von der ersten Einstellung an)										Erste Einstellung nach Dunkelaufenthalt von	Differenz zwischen erster u. letzter Einstellung in % des kleineren Werthes
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45		
Eingestellte Spaltweiten	I	45	44,5	44	40	38	37,5	37,0	37,5	37,0	37,0	5 Min.	22 %
	II	50	47	44	43,6	44	41	35	34,5	35	34,5	10 „	45 „
	III	38	—	33	31	32	31,5	32	32	31,5	31,5	6 „	21 „
	IV	50	—	46,5	—	36,5	35	36	36,5	36	36	14 „	39 „
	V	49	—	50	49	48	46	42	39	37	38	9 „	29 „

Alle Versuche lassen, wie man sieht, eine zwar nicht sehr starke aber doch vollkommen deutliche Aenderung der Aequivalenzverhältnisse in dem Sinne erkennen, dafs allmählich das Blau verstärkt resp. das Orange abgeschwächt werden mufs, das letztere also relativ stärker wirksam erscheint. Es ist dies in der That die nach den oben angeführten theoretischen Erwägungen erwartete Erscheinung, eine dem PURKINJE'schen Phänomen entgegengesetze Aenderung.

Durchaus ähnliche Ergebnisse erhielt Professor NAGEL, der einige Versuche nach gleichem Verfahren anstellte. Bei derjenigen Anordnung, wo der Fleck blaues, die Umgebung orangefarbenes Licht hatte, stellte er ein:

Dunkeladaptation	0	15	35	55	60	Minuten nach der ersten Einstellung
Spaltweiten	36	42	45	52	54	Theilstriche

und in einem zweiten Versuch:

Dunkeladaptation	0	5	8	18	20	35	45	Minuten nach der ersten Einstellung
Spaltweiten	32	32	33,5	33,5	37	39	40,5	Theilstriche.

Bei derjenigen Anordnung, wo der Fleck orangefarbiges Licht, die Umgebung blaugrünes hatte, waren die Ergebnisse die folgenden:

Dunkeladaptation	0	10	13	17	30	33	39	45	Minuten nach d. ersten Einstellung
Spaltweiten	46	43	43,5	42,5	38	36	37	36	Theilstriche.

Dunkeladaptation	0	5	8	10	20	35	40	Minuten nach der ersten Einstellung
Spaltweiten	50	50	47	46,5	41	37,5	38	Theilstriche.

Man sieht also auch hier, wie im Laufe der längeren Adaptation allmählich das Blau an Reizwerth relativ verliert, das Orange gewinnt.

Einige Beobachtungen, die auf einer weniger excentrischen Netzhautpartie (10°) durchgeführet wurden, lieferten so vollkommen übereinstimmende Resultate, dafs es gegenstandslos erschien, auch diese in einer gröfseren Zahl von Reihen zu prüfen. Besonderes Interesse bot dagegen die Untersuchung einer dem Centrum möglichst nahe zu wählenden Stelle; da die Beobachtung mit dem Netzhautcentrum selbst aus bekannten

Gründen unmöglich ist, so konnte natürlich der Fixirpunkt nicht in den Fleck mitten hinein, selbst nicht an den Rand desselben gelegt werden. Es zeigte sich, dafs eine sichere Beobachtung noch gelang, wenn dem Mittelpunkt des Flecks ein Abstand von 4° vom Fixirpunkt gegeben wurde; der Fleck selbst konnte hierbei zweckmäfsig auf eine etwas kleinere Ausdehnung reducirt werden (2,5°). Das Resultat der mit dieser Anordnung angestellten Versuche war nun, dafs die bei der gröfseren Excentricität beobachtete Erscheinung auch hier in wesentlich gleicher Weise stattfindet. Der unmittelbare Vergleich lehrte dabei, dafs allerdings zwischen den mit kleiner und den mit grofser Excentricität gemachten Einstellungen ein constanter Unterschied besteht; ein für die eine Netzhautstelle richtig gemachte Einstellung trifft ganz deutlich für die andere nicht zu und umgekehrt. Es handelt sich aber dabei nicht um einen Unterschied, der etwa auf einer geringeren Variabilität der weniger excentrischen Stelle beruhte, so dafs deren Einstellungen etwa dauernd auf einem Werthe blieben, der für die mehr excentrische Stelle nur zu Anfang gültig wäre; vielmehr ändern sich die Werthe für beide Partien in nahe gleichartiger Weise mit fortschreitender Adaptation, so dafs die Unterschiede dauernd in etwa gleichem Betrage bestehen bleiben. Um dies möglichst klar zur Darstellung zu bringen, wurden einige Versuche so geführt, dafs zwei Fixirzeichen angebracht wurden und in derselben Reihe immer sofort nacheinander eine Einstellung für die kleine und eine für die grofse Excentricität gemacht wurde. Zwei Reihen dieser Art lieferten die nachstehenden Zahlen:

Veränderung der Spaltweiten für ein Licht von der Wellenlänge 480 $\mu\mu$ verglichen mit einem gleichbleibenden Orange.

		Excentric. 4°	Excentric. 20°
Minuten	0	49	43
"	5	50,5	44
"	10	53	46,5
"	20	54,5	47
"	30	55,5	48
"	40	55	48,5

Erste Einstellung nach 15 Minuten möglich.

Veränderung der Spaltweiten
für ein Licht von der Wellenlänge 640 $\mu\mu$ im Vergleich zu einem
gleichbleibenden Licht von 500—460 $\mu\mu$.

		Excentric. 4°	Excentric. 20°
Minuten	0	50	57
„	5	49	56
„	10	45,5	53,5
„	15	43	52
„	25	41,5	52
„	35	42	50
„	45	42	49
„	50	41	48

Erste Einstellung nach 10 Minuten möglich.[1]

Man wird vermuthen dürfen, dafs die Abweichung zwischen den verglichenen Netzhautstellen auf einem nicht veränderlichen Moment beruht, nämlich auf der Makula-Pigmentirung. Dafs die bei kleiner Excentricität gemachten Einstellungen noch etwas unter dem Einflusse des Makula-Pigments gestanden haben, erscheint in der That bei dem, was über die Ausdehnung der Pigmentirung bekannt ist, wohl denkbar. Auch sind die Differenzen, im Durchschnitt etwa auf 15 % zu veranschlagen, von einer Gröfsenordnung, die diese Auffassung wohl zulässig erscheinen läfst.

Es bleibt indessen noch ein anderes zu erwägen. Im Hinblick auf die zu Anfang entwickelte theoretische Auffassung kann es auffallen, dafs die mit der Adaptation einhergehenden Aenderungen, die ja auf die Ansammlung des Sehpurpurs zurückgeführt werden sollten, auf der ohne Zweifel relativ purpurarmen dem Centrum nahen Stelle ebenso deutlich hervortreten, wie auf der voraussichtlich viel purpurreicheren excentrischen. Man kann dem gegenüber darauf hinweisen, dafs die sichtbaren Unterschiede des Purpurreichthums jedenfalls nicht allein von dem Purpurreichthum der einzelnen Stäbchen, sondern sehr wesentlich auch von deren Zahl pro Flächeneinheit abhängen, während die hier verfolgten Aenderungen mit der Adaptation

[1] Der relativ geringe Betrag der hier gefundenen zeitlichen Aenderung erklärt sich daraus, dafs wegen der Betheiligung der paracentralen Stelle die Beobachtungen erst nach erheblich längeren Dunkeladaptationen anfangen konnten, als bei den früheren Reihen.

wohl nur mit der Erfüllung des einzelnen Stäbchens mit jenem Farbstoff zusammenhängen dürften.

Das Ergebnifs der obigen Mittheilung kann dahin zusammengefafst werden, dafs die Dämmerungswerthe der verschiedenen Lichter sich mit zunehmender Adaptation zwar nicht sehr erheblich, aber doch deutlich und zwar in einem den Purkinje'schen Phänomen entgegengesetzten Sinne ändern.

Von grofsem Interesse wird es natürlich sein, zu erfahren, ob eine Erscheinung ähnlicher Art bei den total Farbenblinden zu constatiren ist. In dieser Hinsicht möchte ich vorderhand nur constatiren, dafs ich dies durch das negative Ergebnifs meiner früheren Beobachtungen nicht für ausgeschlossen halten möchte, da bei ihrer beschränkten Genauigkeit Aenderungen der Aequivalenzverhältnisse von der hier in Betracht kommenden Gröfsenordnung wohl der Wahrnehmung entgehen konnten.[1] Erst wenn sich auch hier ein Gleiches herausstellen sollte, wird man die eingangs angeführte Hypothese über die Ursache der Erscheinung für hinlänglich begründet halten dürfen.

Tschermak hat in einer jüngst erschienenen Arbeit[2] mitgetheilt, dafs für stark excentrische Netzhautstellen die Aequivalenzverhältnisse verschiedenfarbiger Lichter sich mit fortschreitender Dunkeladaptation beständig im Sinnne des Purkinje'schen Phänomens ändern. Die Richtigkeit dieser Erfahrung wird gewifs für einen weiten Bereich von Lichtstärken nicht zu bezweifeln sein. Sollen aber, gemäfs der von T. weiter gemachten Angabe die optischen Gleichungen von den absoluten Lichtstärken allgemein unabhängig sein, und wird jene Angabe somit auch auf Lichter bezogen, wie sie in den obigen Versuchen Stegmann's benutzt wurden, solche also, die unter allen Umständen auch central und paracentral keine Farbe erkennen lassen, so tritt sie hier mit unseren Erfahrungen in einen kaum verständlichen Widerspruch. Einen gewissen Anhalt zur Lösung dieses Widerspruchs gewährt nur der folgende Umstand. Tschermak findet

---

[1] Es wurde daher auch damals nur gefolgert, dafs die Helligkeitsverhältnisse verschiedener Lichter für die total Farbenblinden nicht in erheblichem Betrage durch den Adaptationszustand beeinflufst werden. (Vergl. *Zeitschr. f. Psychol.* **13**, S. 295.) Mit ähnlicher Zurückhaltung drücken sich auch Hering und Hess aus.

[2] Tschermak. Beobachtungen über die relative Farbenblindheit im indirecten Sehen. Pflüger's *Archiv* 82, S. 559.

für den helladaptirten Zustand Werthe, die mit unseren Peripheriewerthen genügend übereinstimmen. Dagegen sind die Veränderungen, die er beim Uebergange zur Dunkeladaptation findet, wenn auch erheblich, doch noch lange nicht von dem Betrage, wie es dem Unterschiede unserer Peripherie- und Dämmerungswerthe entsprechen würde. Es folgt daraus, wie es auch seine Zahlen zu zeigen scheinen, dafs er zu Aequivalenzverhältnissen zwischen Gelb und Blau, wie sie den Dämmerungswerthen zukommen, d. h. also zu einer Art des Sehens, wie sie doch schon von recht vielen Beobachtern constatirt ist und als einigermaafsen typisch gelten kann, überhaupt nicht gelangt ist. Es wird aufzuklären bleiben, ob hier eine individuelle Eigenthümlichkeit vorliegt, oder ob (was zu vermuthen ich mich trotz der gegentheiligen Angabe nicht ganz enthalten kann) die Abschwächung der Lichter eine unzureichende gewesen ist.

Ueber
die Wirkung kurzdauernder Reize auf das Sehorgan.

Von

J. von Kries.

Ueber den im obigen Titel bezeichneten Gegenstand hat Hess neuerdings eine Arbeit veröffentlicht,[1] auf die ich mit einigen Bemerkungen einzugehen nicht unterlassen darf, hauptsächlich weil in derselben eine Auffassung von gewissen Mittheilungen aus meinem Institut niedergelegt ist, die möglicherweise Nachuntersucher irre führen könnte. Es handelt sich um die für die Beobachtung der nachlaufenden Bilder geeigneten Lichtstärken. Hess hat nämlich aus der von Samoljow gegebenen Beschreibung eines von ihm und überhaupt in meinem Institut benutzten Apparates geschlossen, dafs ein Milchglas, aus einer Entfernung von ca. 50 cm durch zwei oder drei Auerbrenner transparent beleuchtet, eine für unsere Beobachtungen angemessene und von uns im Allgemeinen benutzte Lichtstärke darbiete. Das ist aber ein Irrthum. Der von Samoljow beschriebene Apparat ist auf die Erreichung solcher hoher Lichtstärke eingerichtet, um bei seiner Handhabung in jeder Hinsicht, besonders auch mit Anwendung farbiger Gläser, einen möglichst weiten Spielraum zu haben. Ein aus der Entfernung von 50 cm von drei Auerbrennern beleuchtetes Milchglas ist aber seine höchste Lichtstärke und diese ist für den Zweck in der That viel zu hell und bedarf einer sehr erheblichen Abschwächung durch ein Rauchglas. — Die Beobachtung des „Springens“ der nachlaufenden Bilder an der Stelle des deutlichsten Sehens ist leicht und sicher nur dann, wenn das nachlaufende Bild von dem primären durch

[1] *Archiv für Ophthalmologie* 51 (2), S. 225.

ein beträchtliches dunkles Intervall getrennt ist. Eine Angabe über die dazu erforderlichen Lichtstärken in bestimmten Helligkeitswerthen bin ich leider nicht zu machen in der Lage; es würde dabei übrigens auch auf die Belichtungs d a u e r der einzelnen Netzhautstelle, also bei bewegten Objecten auf das Verhältnifs von Object-Gröfse und Geschwindigkeit, ankommen. Ein einfaches und sicheres Kriterium für die Wahl der geeigneten Lichtstärken ist eine, wenigstens annähernde Bestimmung der zeitlichen Verhältnisse, welche auf die von Bidwell und mir übereinstimmend angegebenen Werthe herauskommen müssen. Das secundäre Bild tritt danach $^1/_4$—$^1/_5$ Secunden nach dem B e g i n n des primären auf. Ist das umlaufende Object von mäfsiger Gröfse, so dauert sein Vorübergang an der einzelnen Netzhautstelle nur einen Bruchtheil dieser Zeit, und da das primäre Bild durch Nachwirkung des Reizes kaum merklich in die Länge gezogen wird, so beläuft sich das dunkle Intervall auf Werthe, die jenem Zeitwerth nahe kommen.[1]

Der Vermuthung, dafs Hess sich im Allgemeinen zu hoher Lichtstärken bedient habe, kann ich auch jetzt noch mich nicht erwehren; sie wird mir sogar sehr deutlich bestätigt durch seine Bemerkung: dafs er „bei seinen früheren Versuchen das kurzdauernde gegenfarbige Nachbild im Allgemeinen der primären Erregung unmittelbar folgend gesehen habe, während er sich später überzeugte, dafs unter geeigneten Umständen auch zwischen diesen beiden ein sehr kurzes dunkles Intervall sichtbar werden kann“. Es ist zu bedauern, dafs wir nicht erfahren, welches diese geeigneten Umstände waren und wie lang dieses „sehr kurze“ Intervall ist. Bei der Benutzung umlaufender Objecte von den richtigen Lichtstärken ist das Intervall eine Erscheinung, die von keinem Anfänger, geschweige von einem so geübten Beobachter wie Hess übersehen werden kann.

Kann Hess das Ueberspringen des Centrums auch unter diesen Umständen, also bei einer Gesammterscheinung, wie sie etwa der von mir gegebenen Abbildung entspricht, nicht wahrnehmen, so steht das freilich mit dem, was im hiesigen Institut eine allmählich recht grofse Zahl von Personen gesehen, und was unabhängig von mir Hamaker bestätigt hat, im vollen Widerspruch.

---

[1] Vgl. hierüber die Angaben in meiner diesbezüglichen Arbeit *Zeitschrift f. Psychol.* 12, 90f.

In methodischer Beziehung sei noch angeführt, dafs wir die Fixirlichter stets roth nehmen; ein solches kann man bis an die Grenze der Sichtbarkeit überhaupt abschwächen und dabei gleichwohl noch mit Sicherheit central fixiren. Wie wenig ein solcher minimaler Reiz die Sichtbarkeit einer Erscheinung von solcher Deutlichkeit wie das nachlaufende Bild es ist, zu beeinträchtigen vermag, das lehrt die Beobachtung an paracentralen Stellen überzeugend, wo das Nachbild über die Marke ohne jede Unterbrechung hingleitet. Kleine lichtschwache Objecte, die nicht roth sind, üben schon bei mäfsiger Dunkeladaptation einen fast unwiderstehlichen Zwang aus, sie nicht central sondern paracentral zu fixiren; die Benutzung solcher Objecte als Fixirmarken stellt also eine gefährliche Fehlerquelle dar. Ob es möglich ist, wie Hess versucht hat, die selbst nicht sichtbare Mitte zwischen zwei Zeichen mit genügender Sicherheit zu fixiren, zumal wenn ein relativ helles Object im Gesichtsfeld bewegt wird, halte ich für zweifelhaft.

Die von Hess gerühmte Benutzung rotirender oder umhergeschwenkter Glühlämpchen kann ich nicht für empfehlenswerth halten. Insbesondere ist die Regulirung der Lichtstärke durch Rheostaten ein äufserst bedenkliches Verfahren, weil man stets mit der Stärke des Lichtes auch seine Qualität resp. Zusammensetzung in erheblichstem Maafse verändert.[1] Für empfehlenswerth kann ich auch die von Hess versuchte Methode nicht halten, eine längere Lichtlinie als Object zu benutzen, deren mittleres Stück über die Fovea läuft, und nun zu sehen, ob im Nachbild die Linie unterbrochen erscheint. Es ist doch klar, dafs man hier mit all den bekannten Schwierigkeiten zu rechnen hat, die der subjectiven Wahrnehmung eines kleinen Skotoms immer entgegenstehen. Wenn man eine Lichtstärke herstellt, die central nicht gesehen wird, bei der man also ein kleines Object zum centralen Verschwinden bringen kann, und dann eine gröfsere

---

[1] Ich habe vor längerer Zeit einen ähnlichen Apparat (rotirende Glühlampe) zunächst für Demonstrationszwecke construirt, bin aber von seiner Verwendung alsbald zurückkommen. Ohne Anwendung von Rauchgläsern u. dergl. ist in der That die Glühlampe, wie es scheint, zu diesen Beobachtungen ganz vorzugsweise ungeeignet, weil bei der Abschwächung des Glühens das Licht roth wird; es ist wohl denkbar, dafs hierbei ein für die Beobachtungen qualitativ und quantitativ geeignetes Licht auf keinem Punkte der Glühstärke erreicht wird.

Fläche von derselben Helligkeit betraehtet, so weifs man, wie schwer es ist, die eentrale Lüeke sieher wahrzunehmen. Es gelingt wohl, wie Hess selbst angiebt, im ersten Moment der Beobachtung; aber selbst diese Wahrnehmung erfordert sehon grofse Aufmerksamkeit und eine gewisse Uebung. Was will es also besagen, wenn man die eentrale Unterbreehung eines Nachbildes nicht eonstatiren kann?

Bezüglieh der sonstigen von H. erhobenen Einwände sei erwähnt, dafs die Wiederholung der Reizung dureh den rotirenden Apparat sicher nieht in der von ihm angenommenen Weise als Fehlerquelle zu betrachten ist; denn es versteht sieh ja von selbst, dafs man die Erseheinung aueh sofort bei Fixirung der Marke nach zuvor abgewandtem Auge, also bei erstmaligem Vorübergang des Liehts beobaehten kann. Ueberdies bietet der Apparat aueh die Mögliehkeit einer ganz freien und beliebigen Bewegung mit der Hand, ohne Motor; aueh in dieser Weise ist von uns unzählige Male beobachtet worden.

Mit einem Wort mufs ieh sehliefslich noeh den mir von Hess gemaehten Vorwurf berühren, dafs ieh die dem Purkinje'sehen Naehbilde noeh weiter folgenden Phasen „total übersehen habe". Aueh diese etwas seltsame Behauptung ist nur auf den oben erwähnten Irrtum hinsiehtlieh der von uns benutzten Liehtstärken zurüekzuführen. Bei den von uns benutzten Helligkeiten ist das primäre Bild kaum merklieh in die Länge gezogen. Das seeundäre, welehes ea. $^{1}/_{5}$ See. naeh dem primären beginnt, zeigt eine mit zunehmender Dunkeladaptation beständig zunehmende Länge, ist aber zuerst ganz kurz, um sieh erst allmählich in einen längeren und längeren Sehweif auszuziehen. Von der Lichtstärke hängt es ab, ob das secundäre Bild sogleieh naeh der Verdunkelung des Beobaehtungsraumes siehtbar ist oder erst naeh kürzerem oder längerem Dunkelaufenthalt siehtbar wird. Naeh längerer Adaptation ist der Sehweif so lang, dafs die ganze Peripherie mit einem Lichtnebel erfüllt erseheint.

Das günstige Stadium für die Beobaehtung des Springens, für die Bestimmung der Farbe, für die Vergleiehung der Stärke bei versehieden gefärbtem primären Bilde u. s. w. ist jenes, in dem das seeundäre Bild noeh kurz ist, höehstens etwa wie es die von mir gegebene Abbildung zeigt. Man kann, wie ich noehmals hervorheben will, die Liehtstärke so wählen, dafs dieses Stadium un-

mittelbar nach der Verdunkelung eintritt oder auch so, dass es erst nach Adaptation von einigen Minuten erreicht wird.

In diesen Fällen dauert also der ganze Effect der Reizung etwa $^1/_2$ Sec. oder noch weniger und nicht, wie Hess für die von mir benutztem Lichter ausrechnet, 3—4 Sec. Die gesammten Erscheinungen, deren Uebersehen Hess mir vorwirft, sind unter den von mir eingehaltenen Beobachtungsbedingungen in der That nicht vorhanden.

Dafs die Dinge bei stärkeren Lichtern ganz anders sind, habe ich keineswegs übersehen, sondern bei gelegentlichen Beobachtungen mit solchen oft wahrgenommen. Es ist mir aber in der That zulässig erschienen, diese in die Untersuchung zunächst nicht einzubeziehen. Denn jedesmal ist alsdann vor Allem auch das primäre Bild in die Länge gezogen; es ist aber klar, dafs die Deutung der Dinge auf weit gröfsere Schwierigkeiten stöfst, sobald auch mit einer zeitlich ausgedehnteren Thätigkeit des Zapfenapparats zu rechnen ist. Ich habe, wie auf anderen Gebieten, so auch hier nicht die Prätension gehabt, die Gesammtheit der Nachbilderscheinungen, die unter irgend welchen Umständen nach kurzdauernder Reizung auftreten, aus einer theoretischen Auffassung heraus glattauf zu erklären. Für wichtig halte ich, um die Sache unter diesem Gesichtspunkt noch einmal zusammenzufassen, dafs eine eigenartige Function nachgewiesen werden kann, hinsichtlich deren auch bei schwach- oder gar nicht dunkeladaptirtem Auge die Reizwerthe der verschiedenen Lichter sich wie die Dämmerungswerthe verhalten und dafs diese Function in einem centralen Bereich fehlt. Meine Ueberzeugung von der Richtigkeit dieser Constatirung ist durch die Mittheilungen von Hess bis jetzt nicht erschüttert worden. Ueber ihre theoretische Bedeutung weiter zu streiten, dürfte kaum von Nutzen sein. Ebenso darf ich wohl der Beurtheilung des Lesers die Frage überlassen, wer die Schuld des Mifsverständnisses trägt, das Hess veranlafste, die complementäre Färbung des in Rede stehenden Bildes so entschieden zu bestreiten, während er sie jetzt in der Form anerkennt, dafs er ja die complementäre Phase lange vor mir beschrieben habe.

Ueber die im Netzhautcentrum fehlende Nachbilderscheinung und über die diesen Gegenstand betreffenden Arbeiten von C. Hess.

Von

J. von Kries.

So sehr ich die Weiterspinnung einer unerfreulichen und auf die Dauer wohl kaum noch sehr fruchtbringenden Polemik bedauere, möchte ich doch auf die letzten gegen mich gerichteten Arbeiten von Hess nochmals erwidern[1], vor Allem, weil ich im Hinblick auf die Nachprüfung der zwischen uns streitigen Beobachtungsthatsachen eine etwas eingehendere Besprechung der Methodik für geboten erachte. — Hess bestreitet, wie dem Leser erinnerlich sein wird, die von mir gemachte und aufser von meinen Mitarbeitern auch von Hamaker bestätigte Angabe, dafs ein gewisses bei kurzdauernder Belichtung der Netzhaut auftretendes Phänomen an der Stelle des deutlichsten Sehens fehle. Und zwar handelt es sich um die unter dem Namen des Purkinje'schen (positiv complementären) Nachbildes bekannte Erscheinung, eine der ersten Erregung nach ca. $^1/_5$ Sec. folgende secundäre, die im Allgemeinen eine zu der primären complementäre Farbe zeigt und von dieser durch ein kurzes Dunkelintervall getrennt ist.

Das Phänomen ist, woran hier auch noch gleich erinnert sei, in doppelter Form beobachtet: entweder bei kurzdauernder

---

[1] Hess. Zur Kenntnifs des Ablaufes der Erregung im Sehorgan. *Diese Zeitschrift* 27, S. 1.

Derselbe. Bemerkungen zur Lehre von den Nachbildern und der totalen Farbenblindheit. *Archiv für Augenheilkunde* 44, S. 245.

Erleuchtung eines ruhenden Objects als ein zweites, dem primären in dem genannten kurzen Intervall nachschlagendes Aufleuchten, oder bei einem im Gesichtsfeld bewegten Object als ein zweites, diesem scheinbar in einem gewissen Abstande folgendes Bild (in dieser besonders charakteristischen Form als nachlaufendes Bild, recurrent vision, ghost, Satellit etc. benannt).[1] Für beide Methoden habe ich das Fehlen der Erscheinung an der Stelle des deutlichsten Sehens angegeben; im letzteren Falle in der Form, dafs das nachlaufende Bild den centralen Bezirk zu überspringen scheint.

Meine Beobachtungen sollen nun nach H. fehlerhaft sein, erstlich insofern, als die von mir benutzten Fixirmarken den centralen Bezirk ermüdet hätten; zweitens weil die periodische Wiederholung der Reize in Intervallen von ca. 1,5 bis 2 Sec. durch die Einmischung der späteren (über mehrere Secunden sich erstreckenden) Nachbildphasen die Wahrnehmung der Erscheinung beeinträchtige.

Die letztere dieser Annahmen trifft nun schon aus dem Grunde nicht zu, weil ich meine Versuche sehr häufig auch mit Einzelreizen in ganz grofsen Intervallen (ohne periodische Wiederholung) ausgeführt habe. Gegen beide Einwände ist aber zu bemerken, dafs sie nur unter der höchst unwahrscheinlichen und gänzlich unbewiesenen Voraussetzung gültig sein würden, dafs das Netzhautcentrum eine sehr hochgradige und insbesondere über die der Peripherie weit hinausgehende Ermüdbarkeit besäfse. Denn unter genau den nämlichen Umständen, unter denen die Erscheinung central fehlt, ist sie paracentral aufs Beste sichtbar.

Trotzdem habe ich nicht unterlassen wollen, die Versuche in Formen zu wiederholen, bei denen jene „Fehlerquellen" ausgeschlossen sind. Hierüber will ich im Folgenden berichten, doch möchte ich einige allgemeine Bemerkungen vorausschicken.

Am leichtesten ist es natürlich zu bewirken, dafs die einzelnen Versuche in beliebig grofsen Pausen auf einander folgen. Wenn man das helle Object mit der Hand in Bewegung setzt oder das ruhende Object durch irgend eine passende mit der Hand regierte

---

[1] Es stellt in der Bezeichnung von Hess (*Archiv f. Ophthalmologie* 51, S. 229) die dritte Phase des Nachbildverlaufs dar und darf also namentlich nicht mit seiner (positiv gleichfarbigen) Phase 5 verwechselt werden, die der primären Erregung in erheblich gröfserem Zeitabstand folgt.

Vorrichtung für einen Moment aufdeckt, so ist man in jener Hinsicht ganz unbeschränkt. Man sollte indessen für die schwierigeren subjectiven Beobachtungen den Vortheil nicht unterschätzen, den die gleichmäfsig periodische Wiederholung des gleichen Vorganges durch eine mechanische Vorrichtung besitzt. Ich möchte namentlich dem in solchen Versuchen noch wenig Geübten immer rathen, sich zuerst an solchen Beobachtungen zu orientiren, die durch die periodische Wiederholung und das Fehlen irgend welcher dem Beobachter selbst obliegenden Hantirung erleichtert sind. Schon hierbei kann man natürlich nach einer Reihe excentrischer Beobachtungen den Blick plötzlich auf die Stelle des Objects richten und sich überzeugen, was hier bei dem ersten Aufleuchten oder dem ersten Vorübergang gesehen wird. Mag die periodische Wiederholung der Reize hier die Beobachtung etwaiger späterer Nachbildstadien beeinträchtigen, so ist doch sicher, dafs der Ablauf der Erscheinungen unmittelbar nach der primären Erregung, auf den es uns hier allein ankommt, nicht durch das Bevorstehen weiterer Lichtreize modificirt sein kann.

Im Uebrigen wird man Anordnungen am nützlichsten finden, die zwischen dem Verfahren periodisch wiederholter und beliebig zu gebender einzelner Reize leicht abzuwechseln. Ich habe neuerdings meine Versuche grofsentheils mit einem Projectionsapparat gewöhnlicher Art ausgeführt, der so eingerichtet war, dafs er nur sehr wenig diffuses Licht ins Zimmer gelangen liefs. Läfst man eine in einer drehbaren Scheibe angebrachte Oeffnung abbilden, so kann man das auf dem Schirm entworfene helle Bild nach Belieben in Bewegung bringen, sei es, dafs man die Scheibe durch einen Motor in regelmäfsige Rotation versetzt, sei es, dafs man sie mittels eines passenden Schnurlaufs mit der Hand kleinere oder gröfsere Bewegungen ausführen läfst. Eine vor dem Projectionskopf sich drehende Scheibe mit Schlitz gestattet ein Feld für sehr kurze Zeit aufleuchten zu lassen. Auch hier steht ohne Schwierigkeit ein Verfahren mit Einzelreizungen neben dem mit periodischen Wiederholungen zu Gebote. Ich habe diese Versuchsanordnungen neben vielen anderen (auch den Momentverschlüssen) verwendet.

Wie weit es möglich ist auf die von Hess beanstandeten Fixirmarken zu verzichten, wird bei den einzelnen Verfahrungsweisen zu erwähnen sein. Im Voraus aber ist hier noch ein

anderer Punkt, eine besondere Kategorie bei diesen Beobachtungen zu beachtender Täuschungsmöglichkeiten zu berühren.

Die hier gestellte Aufgabe, das locale Fehlen einer bestimmten Functionsweise nachzuweisen, hat grofse Aehnlichkeit mit der anderen wohlbekannten, einen localen vollständigen Functionsausfall, ein kleines Skotom, nachzuweisen; ja man kann auch hier geradezu von einem relativen Skotom reden, indem man durch das Wort relativ ausdrückt, dafs der Defect sich auf eine ganz bestimmte Function, event. also auf einen bestimmten Zeitpunkt beziehen soll. Nun ist es bekannt, dafs der Wahrnehmung solcher Skotome, etwa als Lücken oder Unterbrechungen eines in Wirklichkeit stetig erstreckten Gegenstandes, gewisse Umstände cerebralen Verhaltens entgegenstehen. Wie man diese auffassen, ob und in welchem Sinne man von einer Ergänzung, einer „subjectiven Ausfüllung" des Skotoms reden will, ist dabei gleichgültig; jedenfalls ist Thatsache, dafs man vielfach die bei einem realiter vorhandenen Skotom zunächst zu erwartende Unterbrechung nur schwierig oder auch gar nicht constatiren kann. Es ist ferner hier auch an die bekannten Erfahrungen zu erinnern, die man bei dem sogen. Schnellseher macht, bei dem man ja auch die objectiv nicht sichtbaren Zwischenstadien eines Bewegungsvorganges in so zwingender Weise wahrnimmt, dafs es völlig unmöglich ist, sich ihr Fehlen und das Intermittirende (Springende) der gesehenen Bewegung zur Perception zu bringen. — Es ist ein glücklicher Umstand, dafs wir bei gut dunkeladaptirtem Auge in dem Netzhautcentrum ein relatives Skotom gegenüber lichtschwachen Objecten besitzen. Hier kann man sich von der fovealen Unsichtbarkeit eines kleinen Objects leicht direct überzeugen und indem man kleinere oder gröfsere ruhende oder bewegte Gegenstände in einer foveal sicher unsichtbaren Helligkeit beobachtet, kann man sich sehr werthvolle Controlversuche verschaffen. Man sollte, ehe man sich berechtigt hält, unter irgend welchen Umständen aus dem Fehlen einer wahrnehmbaren Lücke auf das Fehlen des Skotoms zu schliefsen, nicht unterlassen, sorgfältig zu erwägen und sich durch derartige Controlversuche darüber zu vergewissern, ob man bei bestehendem Skotom die sichere Wahrnehmbarkeit der Lücke erwarten kann.

Ich wende mich nach diesen Vorbemerkungen zu der Besprechung der einzelnen Beobachtungsmethoden, wobei dem oben

Gesagten entsprechend auf die Entbehrlichkeit der Fixirmarke besonders Rücksicht zu nehmen sein würde. Ich beginne mit denjenigen Verfahrungsweisen, bei denen es sich um Beobachtung eines momentan aufleuchtenden (ruhenden) Objects handelt.

Das einfachste Verfahren besteht darin, ein kleines Object zu wählen, so dafs es auch bei kleinen Schwankungen des Blicks noch ganz foveal abgebildet werden kann. Ist die Helligkeit so gewählt, dafs man excentrisch das secundäre Aufleuchten als ein deutlich getrenntes gut wahrnimmt, so kann man mit der gröfsten Schärfe constatiren, dafs dieses fehlt, sobald das Object mit dem Netzhautcentrum gesehen wird.[1] Diese Beobachtung haben Pertz und Samojloff mit Benutzung einer Fixirmarke gemacht. Ich habe sie neuerdings vielfach wiederholt; sie läfst sich (ohne die geringste Aenderung des Erfolges) auch so ausführen, dafs das Object in die Mitte zwischen zwei Lichtpünktchen kommt. Läfst man das Object wiederholt aufleuchten, so kann man auch (sofern ein wenig diffuses Licht im Gesichtsfeld ist) sehr gut nach einigen excentrischen Beobachtungen den Blick ganz ohne irgend welche besonderen Marken mit genügender Genauigkeit auf die betr. Stelle richten und die Erscheinung bei dem ersten dann folgenden Aufleuchten beobachten. Es gelingt also hier in der That, den Beobachtungen eine Form zu geben, bei der weder von einer Ermüdung des Centrums durch Fixirlicht, noch von Störungen durch die Wiederholung der Reize die Rede sein kann. Trotzdem kann man sich überzeugen, dafs das charakteristische secundäre Aufleuchten (in $^1/_4$ bis $^1/_5$ Sec. Intervall) jedesmal fort ist, wenn man den Blick direct auf das Object wendet; ich kann andererseits sagen, dafs ich noch niemals an einem foveal abgebildeten Object diese Erscheinung (trotz wahrlich zahlreicher und sehr variirter Versuche) habe sehen können.

Obwohl nun die Beobachtung dieser Art im Grunde durchaus beweisend und einwandsfrei ist, so liegt es doch nahe, sie durch einige Modificationen noch prägnanter zu gestalten. Es kann die Forderung gestellt werden, das Verhalten paracentraler

[1] Ich spreche selbstverständlich hier immer von dem secundären Aufleuchten nach $^1/_4$ bis $^1/_5$ Sec., nicht etwa von einem etwa erheblich später folgenden und durch einen ganz anderen zeitlichen Verlauf charakterisirten (Hess Phase 5).

Partien und des Centrums selbst bei der nämlichen Reizung zu vergleichen; und hiermit kommen wir auf die Frage, ob man in einem secundär aufleuchtenden Bilde von gröfserer Erstreckung den dem Centrum entsprechenden Functionsdefect als Unterbrechung oder Lücke wahrnehmbar machen kann. Unter gewissen Umständen nun gelingt auch dies sehr schön und mit durchaus überzeugendem Erfolge. Am besten finde ich die Erscheinung dann beobachtbar, wenn ich dem Object die Form einer etwa $^1/_4{}^0$ bis $^1/_2{}^0$ breiten Linie gebe. Ist nur Helligkeit und Adaptation so gewählt, dafs das secundäre Aufleuchten als ein von dem primären deutlich getrennter Nachschlag gesehen wird, so sehe ich auch vollkommen überzeugend dieses secundäre Aufleuchten central unterbrochen. Sehr häufig ist dasselbe nicht in der ganzen Erstreckung der Linie genau gleichzeitig, sondern scheint von der Peripherie gegen das Centrum fortzuschreiten. Man erhält so den Eindruck eines von beiden Seiten gegen das Centrum hinlaufenden Vorganges, der aber beiderseits in einem kleinen Abstand vom Centrum abbricht. Dieses Abbrechen ist unter günstigen Umständen so scharf zu sehen, dafs man die Begrenzungsform des secundären Bildes genau angeben kann.

Auch bei diesen Versuchen nun ist die Fixirmarke entbehrlich. Man kann (bei verticaler Linie) zwei Pünktchen rechts und links zur Blickorientirung anbringen; man kann bei etwas diffusem Licht und periodischer Wiederholung die Marken auch ganz fortlassen: der Erfolg ist immer derselbe.

Es wird übrigens hier der Ort sein zu bemerken, dafs, wenn von der centralen Unterbrechung eines Phänomens gesprochen wird, damit nicht gesagt ist, dafs während der betr. Zeit central gar nichts gesehen wird. In vielen Fällen freilich ist das so; die centrale Lücke der Linie hebt sich dann im Moment des secundären Aufleuchtens nicht merkbar von der Umgebung ab. Doch möchte ich die Angabe Hamaker's nicht bestreiten, dafs in der gleichen Zeit die complementäre Farbe auch central als tief dunkles negatives Nachbild gesehen werden kann. Nimmt man die Lichtstärken relativ grofs, so kann auch central noch eine gewisse Helligkeit gesehen werden, gerade wie dann bei bewegtem Object das primäre Bild bis an das nachlaufende heran sich erstrecken kann.

Ich möchte über diese Dinge, die mit dem Verlaufe der fovealen Nachbilder resp. der Nachbilder im Zapfenapparat zusammenhängen, hier keine detaillirten Angaben machen; sie sind hier auch ohne Belang. Das was central fehlt, ist das zeitlich scharf markirte charakteristische Aufleuchten (wie es zu erwarten ist, wenn ein central fehlender Apparat die Helligkeitsempfindung liefert). Im Allgemeinen ist das allerdings so sehr

das Ueberwiegende und Maafsgebende der ganzen Erscheinung, dafs man ohne erläuternden Zusatz von einer Lücke oder einem Springen eines bestimmten Nachbildes reden darf.

Während unter den angegebenen Umständen die Erscheinung vortrefflich und ganz in der theoretisch erwarteten Weise zu sehen ist, genügen aber scheinbar geringfügige Motificationen, um die analoge Wahrnehmung weit schwieriger oder ganz unmöglich zu machen. Schon wenn man statt der einen Linie zwei sich rechtwinklig durchkreuzende nimmt und den Blick auf den Schnittpunkt gerichtet hält, ist es weit schwieriger in dem secundären Aufleuchten die Unterbrechung beider Linien zu constatiren. Nimmt man aber ein Feld, das sich über einen bedeutenden Theil des Gesichtsfeldes erstreckt, so kann man die centrale Lücke des secundären Aufleuchtens in der a priori zu erwartenden Form (als runder dunkler Fleck) in der That nicht sehen. Was man hier eigentlich sieht, ist sehr schwer anzugeben; ich möchte eigentlich nur sagen, dafs der ganze Ablauf der Vorgänge zu verwickelt und verwirrend ist, als dafs man Einzelnes herauserkennen könnte. — Gerade hier ist es nun instructiv, die Beobachtung von Objecten einer foveal unsichtbaren Helligkeit (bei dunkeladaptirtem Auge) zum Vergleich heranzuziehen. Ein kleines Object dieser Art durch directe Fixation zum Verschwinden zu bringen, gelingt bekanntlich dem einigermaafsen Geübten sehr leicht. Eine centrale Unterbrechung eines gröfseren Objectes kann dagegen bei dauernder Betrachtung wohl Niemand mit Sicherheit bemerken. Macht man Objecte dieser Art momentan sichtbar, so ist bei schmalen Linien die centrale Lücke sehr gut (mit oder ohne Fixirmarke) zu sehen. Man benutze nun aber ein gröfseres Feld und man wird erstaunt sein, wie viel schwerer es hier ist den Ausfall des Centrums zu constatiren. Wer von der Existenz des Skotoms unterrichtet ist, wird wohl ab und zu den erwarteten Fleck sehen; manche gute Beobachter haben mir die Sichtbarkeit desselben entschieden bestritten; ich für mein Theil finde die Beobachtung auch hier so schwierig, dafs ich auf Grund dieses Versuchs jedenfalls nicht wagen würde, die Existenz eines Skotoms zu behaupten.

Bedenkt man, dafs die analoge Beobachtung für das secundäre Bild noch durch die lückenlose Erstreckung des unmittelbar vorausschlagenden primären Aufleuchtens in hohem Grade

erschwert ist, so wird man sich nicht wundern, wenn hier die Constatirung der Lücke **nicht** gelingt.

Die eigenthümlichen Hindernisse, mit denen bei Beobachtungen dieser Art zu rechnen ist, werden auch noch durch eine andere Versuchsmodalität illustrirt, die ich hier nicht unerwähnt lassen möchte. Hat man sich überzeugt, dafs an einem direct fixirten kleinen Object das secundäre Aufleuchten fehlt, während es paracentral vorhanden ist, so liegt es nahe 3 Objecte, z. B. drei in einer Linie angeordnete kleine Feldchen zu benutzen, von denen das mittlere auf die Stelle des deutlichsten Sehens fällt. Man kann erwarten, nunmehr in dem secundären Aufleuchten das Fehlen des mittleren mit besonderer Deutlichkeit wahrzunehmen. Stellt man aber den Versuch in dieser Form an, so bemerkt man mit Ueberraschung, dafs es aufserordentlich schwierig ist, dies zu constatiren; ja man hat sogar zuerst in einer ganz verblüffenden Weise den Eindruck, als ob nun auch das mittlere (fixirte) Feldchen **gleichzeitig** mit dem secundären Aufleuchten der excentrischen Feldchen sichtbar sei. Diese Täuschung kann man dadurch überwinden, dafs man seine Aufmerksamkeit ganz ausschliefslich diesem mittleren Object zuwendet, wobei man dann wieder das Fehlen des charakteristischen Nachschlages bemerkt. Der Grund der Sache liegt offenbar darin, dafs es unmöglich ist, genau gleichzeitig, für einen bestimmten Moment mehreren disparaten Netzhautstellen die volle hier erforderliche Aufmerksamkeit zuzuwenden. Hierin liegt der grofse Vorzug, den die Wahrnehmung der Lücke in der stetig erstreckten Linie besitzt. Denn hier kann man die Aufmerksamkeit auf einen derjenigen Punkte concentriren, in denen das secundäre Aufleuchten abschneidet.

Ich wende mich nunmehr zu der anderen Art der Methoden, bei denen ein bewegtes Object benutzt und das nachlaufende Bild beobachtet wird. Für die Beobachtung, dafs dieses nachlaufende Bild die Stelle des deutlichsten Sehens überspringt, ist natürlich eine sichere Fixation erforderlich und ich bin daher bis vor Kurzem der Meinung gewesen, dafs es kaum gelingen werde, diese Erscheinung ohne eine (foveal zu fixirende) Marke zu beobachten. In der That stöfst man auf unüberwindliche Schwierigkeiten, wenn man so zu Werke gehen will, dafs man die (selbst nicht markirte) Mitte zwischen 2 Lichtpunkten fixiren läfst, wenigstens wenn man die Distanz der Pünktchen ziemlich

grofs nimmt. Die Versuche, die ich nebst einer Anzahl anderer Beobachter in dieser Weise angestellt habe, lehren eben nur, dafs man so nicht sicher beobachten kann. Selbstverständlich ist es an sich gar nicht schwer, die Mitte zwischen 2 solchen Punkten mit leidlicher Genauigkeit zu fixiren; den Blick aber auf diese Stelle fixirt zu halten und nicht zu folgen, während ein Object von nicht unerheblicher Lichtstärke darüber hingleitet, das ist nach meinen Erfahrungen eine nicht mit der genügenden Sicherheit erfüllbare Forderung. Man hat daher (bei umlaufendem Object) ab und zu den Eindruck das Springen ganz sicher zu sehen; dann aber glaubt man auch wieder das nachlaufende Bild an der Stelle wahrzunehmen, die es ein anderes Mal zu überspringen schien. Es ist eben keine brauchbare Methode; das schwankende Ergebnifs zeigt nur, dafs eine wesentliche Bedingung nicht mit der erforderlichen Sicherheit eingehalten werden kann. — Ich bin nun aber bei der neuerlichen Wiederholung dieser Versuche darauf aufmerksam geworden, dafs die erforderliche Fixation sehr erleichtert wird und die Beobachtung (auch mit Fixirmarke) sicherer und leichter wird, wenn man das Object nicht über die Stelle des deutlichsten Sehens hin und weiter, sondern nur bis an diese heran oder auf sie herauf gleiten, dort aber verschwinden läfst. Man kann leicht einen Schirm vor der bewegten und durch Projection abgebildeten Oeffnung so anbringen, dafs das umlaufende helle Bild an einer bestimmten Stelle verschwindet, am besten dann, wenn es das Fixirpünktchen eben vollständig passirt hat. Man hat alsdann nur auf die Stelle zu achten, wo das nachlaufende Bild untertaucht; und man sieht unter diesen Umständen, ohne die Abziehung durch das weiterlaufende Object, mit der überzeugendsten Deutlichkeit, dafs das secundäre Bild nicht an der gleichen Stelle wie das primäre sondern um ein merkliches Stück vorher verschwindet. In dieser Form nun läfst sich der Versuch auch so ausführen, dafs man nicht ein helles Pünktchen, sondern die Mitte zwischen zweien fixirt. Man legt diese nicht zu weit auseinander (4—5°) und natürlich ihre Verbindungslinie senkrecht auf die Bahn des umlaufenden Bildes; hat man es dann so eingerichtet, dafs das primäre Bild ein wenig jenseits dieser Verbindungslinie untertaucht, so sieht man mit der überzeugendsten Schärfe, dafs das nachlaufende ein merkliches Stück diesseits jener Linie, also ehe es den

fixirten Punkt erreicht, wie hinter einen Schirm verschwindet. Hier gleitet das Bild ausschliefslich über Stellen, die gar nicht von den Fixirlichtern getroffen worden sind, also auch nicht durch sie ermüdet sein können. — Man kann schliefslich dem Versuch auch die Form geben, dafs man eigentliche Fixirmarken ganz fortläfst. Ich habe zu diesem Zwecke auf dem die Bilder auffangenden Schirm ein grofses Blatt schwarzen Sammtes so befestigt, dafs die Grenze des schwarzen und weifsen Feldes die Bahn des umlaufenden Bildes rechtwinklig durchschneidet und zwar gerade an der Stelle, wo das Bild ohnehin abgeschnitten wird. Das Bild läuft auf der weifsen Fläche gegen die schwarze hin, um genau am Rande zu verschwinden. Läfst man nun im Beobachtungsraum ein wenig diffuses Licht, so ist die Grenze des schwarzen und weifsen Feldes nach kurzer Dunkeladaptation gut erkennbar und man kann recht gut den Punkt fixiren, wo das Bild diese Grenze erreicht. Auch so sieht man das nachlaufende Bild ein Stück vor der Grenze wie ausgelöscht verschwinden. Hier wird auch von einer Schädigung des nachlaufenden Bildes durch Contrastwirkung der Fixirpünktchen keine Rede sein können.

Es sei noch erwähnt, dafs man durch mannigfaltige Controlbeobachtungen alle etwa erdenklichen Fehlerquellen ausschliefsen kann. Ein rothes Bild sieht man, auch wenn es noch so lichtschwach gemacht wird, vollkommen sicher bis an die Verbindungslinie der hellen Pünktchen herangleiten und nimmt sein Verschwinden genau an der richtigen Stelle wahr. — Wendet man ferner das Auge ein wenig ab, so sieht man das nachlaufende Bild bis an die betr. Linie herangleiten; man darf hierbei natürlich nicht sehr stark excentrisch beobachten, weil sonst die Sehschärfe zu gering ist, um das, worauf es ankommt, sicher zu erkennen. Endlich kann man die das Loch tragende Scheibe auch mit der Hand in Bewegung versetzen und so einzelne Vorübergänge des Bildes mit beliebig langen zwischengeschalteten Pausen bewirken: der Erfolg ändert sich dadurch in keiner Weise.

Es bleibt mir jetzt noch übrig, die von Hess angestellten Versuche zu besprechen, bei denen eine helle Linie im Gesichtsfeld bewegt wird und deren nachlaufendes Bild beobachtet wird. H. constatirt, dafs, wenn die Linie über die Stelle des deutlichsten Sehens hingleitet, eine Unterbrechung des nachlaufenden Bildes nicht wahrgenommen werden kann. Ich kann dies

im Wesentlichen bestätigen. Zieht man indessen die Bedingungen dieses Versuches in etwas genauere Erwägung, so wird man sich doch sagen müssen, dafs hier, wo die Linie als eine ununterbrochene herangleitet, die Chancen für die Wahrnehmung einer für einen Moment eintretenden kleinen Unterbrechung die allerungünstigsten sind. Ich möchte wohl wissen, welcher Ophthalmolog es für ein brauchbares Verfahren halten würde, auf pathologische Skotome in dieser Weise zu prüfen! Wenn H. sich gegen diese Erwägung auf die Möglichkeit beruft, objectiv vorhandene Unterbrechungen der bewegten Linie zu sehen, so verkennt er, wie mir scheint, vollkommen das, worauf es gerade ankommt. Ist die Linie im ganzen Gesichtsfeld als eine unterbrochene sichtbar, so ist die Lücke natürlich ebenso leicht zu bemerken, wie der objectiv vorhandene schwarze Fleck auf hellem Grunde. Eine wirkliche Anschauung von der Schwierigkeit, ein relatives Skotom als momentane Unterbrechung eines gleitenden Objectes zu constatiren, kann man sich aber in der mehrerwähnten Weise verschaffen, dafs man bei dunkeladaptirtem Auge ein Object von foveal unsichtbarer Helligkeit verwendet. Läfst man eine Linie dieser Art sich durch das Gesichtsfeld bewegen und über die Stelle des deutlichsten Sehens hingleiten, so kann man ja auch erwarten, eine Unterbrechung der Linie wahrzunehmen. Die Ausführung des Versuchs lehrt aber, dafs das thatsächlich nicht gelingt. Ohne Fixirmarke ist von einer Besonderheit an der Stelle des deutlichsten Sehens gar nichts zu bemerken. Benutzt man schwache Fixirlichter, so sieht man die Linien, ganz wie es H. auch für das nachlaufende Bild beschreibt, sich scheinbar etwas verbiegen; immer aber hat man den zwingenden Eindruck, dafs die Linie ohne Unterbrechung über die Fixirmarke hinglitte. Die Erscheinung ist also hier, wo das (relative) centrale Skotom sicher besteht, ganz ebenso, wie beim nachlaufenden Bilde.

Mit wenigen Worten sei dann hier auch gleich die theoretische Seite dieser Frage berührt. H. behauptet, es sei unangängig, die früheren Stadien einer theoretischen Erörterung zu unterwerfen, ohne zugleich die späteren in Betracht zu ziehen. Allein dies würde doch nur dann zutreffen, wenn es sich um irgend eine Erklärung handelte, bei der ein innerer Zusammenhang der secundären und der noch späteren Nachbildstadien in Frage käme. Ein solcher Versuch ist aber weder von mir noch

von Hess gemacht worden, wie denn m. E. an irgend eine Erklärung der bei einmaliger Reizung auftretenden mehrfachen Erregungsanstiege z. Z. gar nicht zu denken ist. H. sagt zwar in gewohnter Weise, dafs die gesammten Erscheinungen sich aus der Theorie der Gegenfarben in befriedigender Weise erklären.[1] Thatsächlich aber zeigt das, was H. hier anführt, lediglich, dafs die Theorie überhaupt positiv complementäre Nachbilder als möglich erscheinen läfst. Aber wie es kommt, dafs die „schwarz-weifse Sehsubstanz" mit einer dreimaligen, durch 2 Dunkelintervalle getrennten Erregung reagiren soll, die farbigen Sehsubstanzen nur mit einer zweimaligen positiven (mit einen negativen Intervall) oder wie es kommt, dafs bei der schwarz-weifsen unter Umständen die beiden ersten Erregungen verschmolzen sind (das erste Dunkelintervall soll nur unter Umständen vorhanden sein[2]) darüber fehlt ja jede Vermuthung. Bei dieser Sachlage wird es wohl nicht verboten sein, festzustellen, dafs in der secundären Erregung eine Anzahl von Eigenthümlichkeiten die Stäbchenfunction erkennen lassen, sich dabei aber in Erwägungen über die anderen Nachbilderscheinungen, für welche die mannigfaltigsten Möglichkeiten offen bleiben, nicht einzulassen und es in Ruhe abzuwarten, dafs H. eine wirkliche Erklärung der Erscheinungen liefert, die mit der Stäbchenhypothese unvereinbar ist.

Die mitgetheilten Thatsachen gestatten die zusammenfassende Behauptung, dafs das charakteristische Phänomen des secundären Aufleuchtens (die Phase 3 nach Hess' Bezeichnung) in der That an der Stelle des deutlichsten Sehens fehlt; für die einschlägigen Beobachtungen sind die von Hess angenommenen „Fehlerquellen" durchaus belanglos; die betreffenden Momente, deren Wirkung in der von H. behaupteten Weise ohnehin äufserst unwahrscheinlich war, lassen sich ohne irgend eine Aenderung des Erfolges auch eliminiren. Bei seinen eigenen Versuchen aber ist H. dadurch getäuscht worden, dafs er die der sicheren Wahrnehmung kleiner localer Functionsdefecte stets entgegenstehenden Schwierigkeiten aufser Acht gelassen hat. — Bedenkt man die Mannigfaltigkeit dieser Schwierigkeiten und wie wenig es möglich ist, ihre Wirksamkeit a priori zu beurtheilen, so darf

[1] *Archiv f. Ophthalmologie* 51, S. 254.

[2] Hess a. a. O. S. 230.

man sich wohl berechtigt halten, zu sagen, dafs die Unmöglichkeit unter gewissen Umständen eine Lücke zu sehen, kaum jemals als zwingender Beweis gegen das Skotom wird geltend gemacht werden können; wenn dagegen unter nur wenig modificirten Bedingungen die sichere Beobachtung der Lücke oder Unterbrechung gelingt, so wird man darin einen Beweis für die Existenz des Skotoms erblicken dürfen. Hier, wie ja sehr häufig, wird das positive Versuchsergebnifs für beweisend in einem Sinne gelten dürfen, während ein negatives die Frage unentschieden läfst und nicht etwa als Beweis des gegentheiligen Verhaltens genommen werden darf. Ich bin veranlafst dies hier zu betonen, weil H. einen Widerspruch darin hat finden wollen, dafs ich das Verfahren der laufenden Linie in einem Falle beanstandet, in einem anderen aber selbst angewandt habe. Allein es handelte sich damals weder um die gleiche Aufgabe noch um die gleiche Methode. Das centrale Fehlen des dem primären Bilde direct angeschlossenen weifsen Schweifes konnte in der Form des Springens nicht anschaulich gemacht werden und so mufste ich auf die Methode der Linie recurriren, ohne die hier bestehenden Schwierigkeiten aufser Acht zu lassen. Gerade diese veranlafsten mich aber auch zur Einführung einer Modification des Verfahrens, die H. ganz mit Unrecht für unwesentlich erachtet; denn durch sie wird es vermieden, dafs man die ununterbrochene Linie gegen den Fixirpunkt heranlaufen sieht. Gelang es unter diesen Umständen, die centrale Unterbrechung des weifsen Schweifes zu sehen, so war es vollkommen berechtigt, darin eine Bestätigung für das Fehlen dieser Erscheinung im Netzhautcentrum zu finden. Wer die Dinge im Zusammenhang überblickt und logisch zu denken versteht, der wird weder darin dafs, oder wie ich die Verfahren angewandt, noch darin, wie ich das Ergebnifs beurtheilt habe, einen Widerspruch gegen meine Auffassung der Hess'schen Versuche finden können.

Hess knüpft an seine Darstellung dieses Gegenstandes die folgende Bemerkung: „Wir begegnen also der bemerkenswerthen Thatsache, dafs v. Kries ein Untersuchungsprincip als besonders vortheilhaft empfiehlt, wenn die damit gewonnenen Ergebnisse seine Anschauungen zu stützen scheinen, dafs er aber dieses Princip scharf verurtheilt, wenn damit Ergebnisse erzielt werden, die seinen Ansichten nicht entsprechen.“ [1] Ich mufs dies, den

[1] *Diese Zeitschrift* 26, S. 12.

obigen Ausführungen entsprechend, als eine ebenso unbegründete wie ungehörige Insinuation sehr entschieden zurückweisen. Und ich komme hiermit auf den zweiten Punkt, mit dem ich mich hier beschäftigen mufs, den Ton und allgemeinen Charakter der H.'schen Polemik.

Dafs die H.'schen Arbeiten durch Mangel an Objectivität und einen unschönen Ton der Nichtachtung die wissenschaftliche Discussion sehr erschweren, kann wohl als bekannt gelten. In den letzten, gegen mich gerichteten Mittheilungen haben diese Eigenheiten einen Grad erreicht, der denn doch einmal eine energische Verwahrung nothwendig macht. Vor Allem mufs ich Einspruch erheben gegen die ungenaue und willkürliche Art, in der H. die von mir entwickelten Anschauungen auffafst und darstellt.

Es mag genügen ein Beispiel hier in extenso anzuführen, nämlich die Erörterung der von dem total Farbenblinden gesehenen positiven Nachbilder. H. beginnt seine neueste Arbeit mit einem Satze in dem es heifst, dafs „endlich — kann man sagen — die v. Kries'sche Schule die Unhaltbarkeit der Hypothesen zugiebt, die v. Kries aufgestellt hatte, um das angebliche Fehlen des sogenannten Purkinje'schen Nachbildes (dritte Nachbildphase nach Erregung der Netzhaut mit einem bewegten leuchtenden Punkte) beim total Farbenblinden zu erklären und die er später, unseren thatsächlichen Angaben gegenüber, durch die Annahme zu vertheidigen gesucht hat, wir hätten zu hohe Lichtstärken benutzt."

Jeder Leser, der die Literatur nicht genau kennt, mufs hiernach glauben, es handele sich um die Berichtigung einer von mir positiv gemachten Angabe und um das Aufgeben von mir bestimmt aufgestellten und mit Entschiedenheit vertretenen Hypothese. Der geneigte Leser höre jetzt, was ich eigentlich gesagt habe. In meiner Arbeit „Ueber die Wirkung kurzdauernder Lichtreize auf das Sehorgan" heifst es in einer Anmerkung „Ferner spricht zu ihren Gunsten" (nämlich einer im Text neben verschiedenen anderen Vorstellungen als möglich berührten Annahme) „eine Thatsache, die ich um so weniger unerwähnt lassen möchte, als sie meinen im Voraus gehegten Erwartungen widersprochen hat. Eine total Farbenblinde, die ich kürzlich zu untersuchen Gelegenheit hatte, konnte die nachlaufenden Bilder nicht wahrnehmen. Die recht gute Beobachtungsfähigkeit des Mädchens

macht es unwahrscheinlich, dafs sie es lediglich übersehen haben sollte; immerhin wird die Bestätigung an anderen Fällen abzuwarten sein." [1]

Die berichtigende Feststellung, dafs auch der total Farbenblinde ein nachlaufendes Bild sehen kann, hat mich also nicht zum Aufgeben einer hartnäckig vertheidigten Hypothese gezwungen, sondern sie hat als Bestätigung der ursprünglichen Erwartung mir die theoretische Sachlage in erfreulicher Weise vereinfacht. Und sie war die Berichtigung einer Beobachtung, die ich selbst als nicht entscheidend bezeichnet hatte, die mitzutheilen ich aber mich verpflichtet fühlte, gerade weil sie der theoretischen Erwartung zuwider lief und weil ich bei der Seltenheit des Materials nicht in der Lage war sie selbst weiter zu controliren.

Wenn ich nicht sogleich nach der ersten Mittheilung von H. und Hering diese Berichtigung dankbar acceptirt habe, so hat das seinen Grund lediglich darin, dafs in keiner Weise zu ersehen war, ob die Mittheilungen von H. und Hering sich wirklich auf dasselbe bezögen, was ich im Auge hatte. Damals stand ja Hess noch auf dem Standpunkt seiner älteren Arbeit (*Archiv f. Ophthalm.* 44 (3), S. 445), in der er gegen mich die Gleichfarbigkeit des nachlaufenden Bildes behaupten zu müssen glaubte, die complementäre Phase aber als dem primären Bilde unmittelbar angeschlossen beschrieb. Es war also klar, dafs er gar nicht wufste, wovon bei mir die Rede war, und vermuthlich unter ganz anderen Bedingungen beobachtete. H. und Hering theilen thatsächlich auch nur mit, dafs der total Farbenblinde ein bewegtes leuchtendes Object in einen Schweif ausgezogen gesehen habe. Es war doch nicht zu verlangen, dafs ich daraus die Fähigkeit des total Farbenblinden entnehmen sollte, ein nachlaufendes Bild, d. h. ein zweites von dem primären Bilde durch ein längeres Dunkelintervall getrenntes, wahrzunehmen.

Erst später (*Archiv f. Ophthalm.* 51, S. 230) hat H. seine irrige Auffassung meiner Arbeit erkannt und den meinigen entsprechende Versuchsbedingungen hergestellt; er sagt uns hier selbst, er habe „bei seinen früheren Versuchen das kurzdauernd gegenfarbige Nachbild (Phase 3) im Allgemeinen der primären Erregung unmittelbar folgend gesehen, während er sich später überzeugte, dafs unter geeigneten Umständen auch zwischen diesen beiden ein sehr kurzes dunkles Intervall sichtbar werden kann."

Nach meinen Erfahrungen konnte ich den Grund hierfür nur in der früheren Benutzung zu hoher Lichtstärken vermuthen. Ich bin aber sehr gern bereit diese Vermuthung fallen zu lassen, wenn H. uns seinerseits angeben wollte, welches denn die hier erwähnten „geeigneten Umstände" sind.

---

[1] Diese Stelle ist bereits in der Arbeit von H. und Hering bis zu dem Worte „sollte" und mit Fortlassung des Schlufspassus citirt worden. Untersuchungen an total Farbenblinden. *Pflüger's Archiv* 71, S. 126.

Aehnlichen Verfahrungsweisen begegnet man nun überall. Insbesondere beruht das ganz systematische Bestreben mir Unklarheiten und Widersprüche, Zurücknehmen früher aufgestellter Hypothesen etc. zuzuschreiben, im Wesentlichen darauf, dafs es H., wie es scheint ganz unmöglich ist, zwischen dem eigentlichen Inhalt, der von mir aufgestellten Theorie und einer Anzahl von Annahmen secundärer Bedeutung, die ich zwar mehrfach berührt, aber durchaus als offene Fragen behandelt habe, zu unterscheiden.[1]

Dazu kommt dann die seltsame Einseitigkeit und Willkürlichkeit theoretischer Betrachtung, von der oben bereits ein Beispiel berührt wurde und die ähnliche Willkürlichkeit, mit der H. Ergebnisse der Stäbchentheorie construirt, um die Thatsachen nicht im Einklang damit zu finden.[2]

Und es kommt dazu endlich eine Methode der Darstellung als deren Specimen ich die m. E. ganz unqualificirbare Art, in der H. einen eigenen Irrthum berichtigt, der Aufmerksamkeit des sachkundigen Lesens ausdrücklich empfehlen möchte.[3]

Man vergleiche in Bezug auf irgend einen der in letzter Zeit discutirten Punkte die Hess'sche Darstellung mit dem, was ich wirklich gesagt oder was bei vorurtheilsfreier Betrachtung sich als Postulat der Stäbchentheorie ergiebt; man vergegenwärtige sich ferner die Art, wie Hess, wo er nach seinem subjectiven und, um das Geringste zu sagen, sehr bestreitbaren Ermessen Verstöfse des Gegners zu sehen glaubt, davon wie von völlig ausgemachten Thatsachen redet und mit Ausdrücken, wie

---

[1] Ich will hier nur an die Frage erinnern, ob eine Spur der für den Dunkelapparat charakteristischen Functionsweise etwa auch in stäbchenfreien Theilen nachzuweisen sei, ferner an die Erörterungen über Bildung und Functionsweise des Netzhautcentrums beim total Farbenblinden.

[2] Vgl. meine „Kritischen Bemerkungen zur Farbentheorie". *Diese Zeitschrift* 19, S. 175.

[3] *Archiv f. Ophthalm.* 51 (3), S. 229f. H. räumt hier ein, dafs er die von zahlreichen Autoren, zuletzt in genauester Weise von Bidwell und mir beschriebene Erscheinung in ihrer typischen Form gar nicht gekannt, dafs er in Folge dessen alle unsere Angaben auf etwas bezogen hat, was sie gar nicht betreffen (nämlich Phase 5 statt Phase 3), wodurch die ganze Bestreitung unserer Angaben in seiner früheren Arbeit (*Ebenda* 44 (3), S. 445) gegenstandslos wird. Wie es H. aber fertig bringt, dies in einer Form zu sagen, die fortwährend nicht ihn, sondern mich ins Unrecht setzt, das — kann ich, wie gesagt, nur der Beachtung des Lesers empfehlen.

„fehlerhafte Versuchsanordnung“, „total übersehen“ in freigiebigster Weise um sich wirft, und man urtheile dann ob es zu viel gesagt ist, wenn ich behaupte, dafs man in der ganzen physiologisch-optischen Literatur der letzten Jahre vergeblich nach Arbeiten suchen wird, die durch dünkelhaften Unfehlbarkeitston so abstofsend wirkten, wie die Hess'schen; dafs man aber auch keine finden wird, die in solchem Maafse mit positiven Unrichtigkeiten und gehässigen Entstellungen gefüllt sind und fast mit jeder Zeile einen entrüsteten Widerspruch provociren.

Die Auseinandersetzung mit gegnerischen Arbeiten dieses Styls halte ich für eine Danaidenarbeit; und da ich ja wohl hoffen darf, dafs die Mehrzahl der Leser ihre Kenntnifs meiner Anschauungen nicht allein aus den Arbeiten von Hess schöpfen wird, so glaube ich, auf eine Fortsetzung der Erörterungen einstweilen verzichten und mich auf diese Verwahrung beschränken zu dürfen. Es kommt dazu noch etwas Anderes. Eine theoretische Discussion mit der Hering'schen Schule erscheint mir gerade im gegenwärtigen Zeitpunkt besonders überflüssig und unfruchtbar, da bis jetzt weder Hering noch einer seiner Schüler oder Arbeitsgenossen gegenüber den wichtigsten Thatsachen, die die Untersuchungen des letzten Jahrzehntes herausgestellt haben, überhaupt Stellung genommen hat. Vor Allem möchte ich hier die Thatsache anführen, die ja der Ausgangspunkt der Stäbchentheorie geworden ist, die nämlich, dafs vielfach Lichter, die unter gewissen Bedingungen (hohe absolute Intensität und helladaptirtes Auge) gleich erscheinen, unter Anderen (geringe Intensität und dunkeladaptirtes Auge) total verschieden erscheinen können, die Ungleichheit der Dämmerungswerthe für helläquivalente Lichter, ein Verhalten, das für das farbentüchtige Sehorgan nur in geringem Maafse, für das dichromatische aber und für die äufserste Peripherie des normalen, in frappantester Weise und gewaltigem Betrage verwirklicht ist. Diese Erscheinung ist von Tschermak (im Hering'schen Institut) bestätigt worden, aber nur für das trichromatische Sehorgan, wo ihr Betrag, wie erwähnt, ein sehr geringfügiger ist; und sie ist hier einfach als eine nicht weiter erklärbare Eigenthümlichkeit der schwarz-weifsen Sehsubstanz hingenommen worden. Diese schon hier wenig befriedigende Auffassung würde für die enormen Differenzen gleicher Art, die wir beim Dichro-

maten und für die normale Peripherie finden, mit den von Hering bisher vertretenen Anschauungen in directestem Widerspruch gerathen und ganz unangängig sein; denn wer wird annehmen wollen, dafs eine Sehsubstanz sich derart ändern kann, dafs sie jetzt von zwei Lichtern gleich stark, in verändertem Zustande aber von dem einen 100 fach stärker als von dem anderen afficirt wird!

Hier liegen also Probleme vor, zu deren Lösung die Hering'sche Schule vorläufig noch nicht den kleinsten Schritt gethan hat. Mit der Zeit wird sie ja ohne Zweifel sich entschliefsen, diese Thatsachen in den Kreis ihrer Erwägungen zu ziehen; vielleicht wird sich dann auch über die Frage der Nachbilder mit mehr Aussicht auf Verständigung reden lassen.

Ueber den Einflufs der Adaptation auf die Erscheinung des Flimmerns.

Von

Dr. M. Schaternikoff aus Moskau.

(Mit 3 Fig.)

Unter den Thatsachen, die sich auf die Erscheinung des sogen. Flimmerns bei Reizung des Sehorgans mit intermittirendem Licht beziehen, dürfte die bekannteste die sein, dafs mit steigender Intensität des intermittirend einwirkenden Lichtes die Frequenz der Unterbrechungen eine immer gröfsere werden mufs, wenn das Flimmern aufhören und die Empfindung eine stetige sein soll. Dagegen ist meines Wissens noch durch keine directen Beobachtungen geprüft worden, ob ähnlich wie die Stärkevermehrung der Lichtreize auch die Erregbarkeitssteigerung des Sehorgans durch Dunkeladaptation wirksam wird. Bei den meisten auf die Erscheinung des Flimmerns bezüglichen Untersuchungen ist vielmehr auf die Adaptation überhaupt nur wenig oder gar keine Rücksicht genommen worden. Bei den Versuchen von Polimanti[1] wurde Sorge getragen, das Auge dauernd in möglichst gut helladaptirtem Zustande zu erhalten. Ich folgte daher gern dem Vorschlag von Herrn Prof. v. Kries, den Einflufs der Adaptation auf die Erscheinung des Flimmerns zu untersuchen; und zwar wurde dabei ausschliefslich die Frage ins Auge gefafst, in welcher Weise die für Erzeugung einer stetigen Empfindung erforderliche Frequenz der Intermission (sie mag im Folgenden die Verschmelzungsfrequenz heifsen) durch die Adaptation beeinflufst wird. Auch wurden die Ver-

[1] *Diese Zeitschrift* **19**, S. 263.

suche durchweg auf den einfachsten Modus intermittirender Beleuchtung beschränkt: es wechselten niemals zwei verschiedene Lichter ab, sondern immer nur Licht mit völligem Lichtabschlufs und zwar so, dafs Einwirkung und Abschlufs des Lichtes gleich lange dauerten.

Es erschien aus theoretischen Gründen geraten (und erwies sich dann auch durch die Befunde als nützlich), die Bedingungen der Versuche zunächst so zu gestalten, dafs, im Sinne der Stäbchenhypothese gesprochen, nur der Dunkelapparat des Auges ins Spiel kommen sollte, die Lichtstärken also so zu wählen, dafs sie für den Zapfenapparat unter der Schwelle blieben. Wie dies im Einzelnen controlirt wurde, wird noch anzuführen sein. Ich schicke zunächst einige Bemerkungen über die technische Einrichtung meiner Versuche voraus.

Die von mir benutzte Versuchsanordnung schlofs sich in den meisten Beziehungen der von Polimanti zu seinen flimmerphotometrischen Untersuchungen angewandten [1] an.

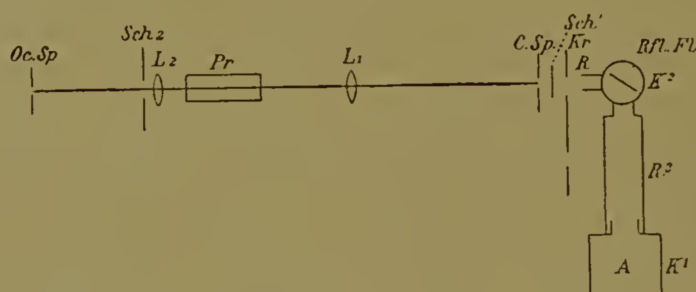


Fig. 1.
Schema der Versuchsanordnung.
(Erklärung im Text.)

Ich bediente mich desselben geradsichtigen Spectralapparates [2] (Fig. 1), dessen Objectivlinse (L_2) bei Betrachtung durch den Ocularspalt (*OcSp*) je nach Einstellung des Collimatorrohres von einem beliebigen homogenen Licht erleuchtet war. Ein schwarzes Cartonblatt (Sch_2) mit einer runden Oeffnung versehen, wurde dicht vor der Linse (L_2) angebracht und liefs von der erleuchteten Fläche derselben ein rundes Feld von 18 mm Durchmesser un-

[1] Dr. O. Polimanti. Ueber die sogenannte Flimmer-Photometrie. *Diese Zeitschrift* 19, S. 265.

[2] In Bezug auf genauere Beschreibung des Spectralapparates selbst und dessen Graduirung kann ich mich, um die Wiederholung zu vermeiden, auf die eben erwähnte Arbeit von Polimanti berufen.

bedeckt. Der Abstand des Ocularspaltes von der Linse betrug 180 mm, so dafs das unbedeckte Feld unter dem Winkel von 5,7 ° gesehen wurde. Ueber diesem Feld war ein kleines Glühlämpchen befestigt, welches in einer mit punktförmiger Oeffnung versehenen Cartonhülse eingeschlossen war. Dieses Lämpchen zum Rothglühen gebracht diente als Fixirmarke.

Als Lichtquelle diente ein in einer lichtdichten Blechlaterne (K^1) eingeschlossener Auerbrenner (A). Das auf ein in einer lichtdichten Blechdose (K^2) eingeschlossene weifse Papierblättchen (*RflFl*) fallende Licht wurde von demselben in der Richtung des Collimatorspaltes (*CSp*) reflectirt. Auf dem Wege des Lichtes zwischen der reflectirenden Fläche und dem Collimatorspalte wurde eine Scheibe aus schwarzem (*Kr*) Papier angebracht, die in Rotation versetzt werden konnte und die in einer den Durchmesser des Rohres R^1 übertreffenden Zone 4 Ausschnitte von 45 ° besafs.

Es ist kaum nöthig zu erwähnen, dafs bei solcher Anordnung und bei geringer Weite des Collimatorspaltes das Hell- resp. Dunkelwerden des beobachteten Feldes momentan vor sich gingen, d. h. der Einflufs der Conturenbewegungen war ganz ausgeschlossen.

Zum Schlufs der Beschreibung der Versuchsanordnung ist es nöthig noch hinzuzufügen, dafs zwischen rotirender Scheibe (*Kr*) und Collimatorspalte (*CSp*) ein vermittels eines Hebels mit dem Anker eines Elektromagneten verbundenes Cartonblättchen (Sch^1) aufgestellt wurde. Dasselbe unterbrach bei freiem Anker den Lichtzutritt zum Collimatorspalt, der also nur beim angezogenen Anker (Stromschliefsnng) stattfand. Diese Unterbrechung des Lichtzutrittes war deswegen wünschenswerth, weil sie gestattete, vor jeder einzelnen Beobachtung das Auge auf die Fixirmarke einzustellen, um erst dann durch Schlufs des Elektromagnetenstromes und Entfernung des auf dem Wege des Lichtes stehenden Schirmes zur Beobachtung selbst überzugehen.

Was den Versuch selbst anbetrifft, so war sein Gang der folgende:

Nachdem das Auge durch ein 10—15 minutenlang dauerndes Anschauen des Himmels gut helladaptirt worden war, merkte der Beobachter die Zeit an, schlofs die Läden und bestimmte von dieser Zeit an gerechnet nach Zwischenpausen von 5, 10, 15 u. s. w. Minuten die Zahl der für continuirliche Empfindung

erforderlichen Lichtwechsel. Die ganze Aufgabe lief darauf hinaus, dem Elektromotor, der den Kreisel in Rotation brachte, diejenige Geschwindigkeit mitzutheilen, bei welcher das Flimmern eben aufhörte. Bekanntlich hat Polimanti bei seinen Untersuchungen diese Aufgabe in der Weise zu lösen versucht, daſs er dem Elektromotor eine überschüssig groſse Geschwindigkeit mittheilte und dann durch abwechselndes Oeffnen und Schlieſsen des Stromes die Geschwindigkeit des Elektromotors in der Art regulirte, daſs sie sich eben an der Grenze des Flimmernaufhörens hielt. Polimanti sagt: „sobald das Flimmern aufgehört hat, wird der Strom geöffnet, die Geschwindigkeit nimmt allmählich ab, und man schlieſst den Strom wieder, sobald das Flimmern bemerkbar wird. Eine an dem Kreisel angebrachte Unterbrechungsvorrichtung zeichnete mit Hülfe eines Registrirmagneten die Umdrehungen auf eine Baltzar'sche Trommel auf; so konnte der Mittelwerth der in obiger Weise normirten Geschwindigkeit hinterher leicht festgestellt werden".[1]

Anfangs versuchte ich dasselbe Regulirungsverfahren des Elektromotors anzuwenden; bald aber habe ich mich überzeugt, daſs dasselbe keine besondere Vortheile vor der Regulirung mit Hülfe der Widerstandsänderung besitzt. Es ist nämlich leicht, durch das Variiren des Widerstandes diejenige Gröſse desselben zu finden, bei welcher die Geschwindigkeit des Elektromotors eben ausreichte, um das Flimmern zum Verschwinden zu bringen. Unbedeutender Zuwachs des Widerstandes zieht sofort das Auftreten des Flimmerns nach sich. Andererseits hatten die Versuche gezeigt, daſs der Elektromotor die ihm einmal mitgetheilte Geschwindigkeit längere Zeit unverändert behält; daher wurde nach der Feststellung der erforderlichen Geschwindigkeit und nach der Controlirung derselben, die Schreibvorrichtung für einige Secunden in Gang gesetzt, wodurch die Umdrehungen auf der Kymographiontrommel aufgezeichnet wurden. Auf dieselbe Kymographiontrommel wurde durch eine Secundenuhr die Zeit aufgetragen, so daſs es nachher leicht war, unter Berücksichtigung der Räderübersetzung des Kreisel die für das Aufhören des Flimmern nöthige Zahl der Umdrehungen pro Secunde auszurechnen.

Bei meinen Versuchen habe ich mich auf die Bestimmung

[1] l. c. S. 279.

der Intermittenzzahlen folgender Lichter beschränkt: erstens des Li-Lichtes (670,8 $\mu\mu$), zweitens des Na-Lichtes (589,3 $\mu\mu$) und drittens des grünen der Wellenlänge 510,5 $\mu\mu$.

Etwas genauer muſs ich mich nun noch über die Feststellung der im Versuch zu benützenden Lichtstärken verbreiten. Als Grundlage für die Beurtheilung, ob ein Reiz unter oder über der Schwelle des Zapfenapparates ist, dient natürlich immer die foveale Sichtbarkeit des betreffenden Objectes. Das Unsichtbarwerden eines kleinen Objectes bei directer Fixation ist bei gut dunkeladaptirtem Auge eine nach einiger Uebung so gut zu beobachtende Erscheinung, daſs man relativ leicht auch die Grenze der Lichtstärke ermitteln kann, bei der sie noch resp. nicht mehr zu constatiren ist.

Indessen ist dies Verfahren ganz einfach und einwurfsfrei nur für das gelbe Licht. Bei dem grünen stellte sich heraus, daſs auch bei einer Lichtstärke, in der das kleine Feld sicher foveal verschwand, das gröſsere, wenn auch schwach, doch deutlich farbig gesehen würde. Man kann hierfür die maculare Absorption des bläulich grünen Lichtes verantwortlich machen; jedenfalls aber ergab sich die Nothwendigkeit, mit der Lichtstärke noch etwas weiter herunterzugehen. Dies habe ich denn auch gethan; leider gab dabei das Verschwinden einer sichtbaren Färbung ein nur sehr unsicheres Kriterium, vorzugsweise weil mir die nur dämmerungssichtbaren Objecte unter allen Umständen leicht bläulich erscheinen.

Anders wiederum liegen die Dinge für das rothe (Lithium) Licht. Nach den Angaben früherer Untersucher war zu erwarten, daſs es hier ein excentrisch sichtbares, foveal verschwindendes Licht überhaupt nicht geben werde; dies hat sich auch mir bestätigt. Immerhin fand ich die Veränderung im Aussehen eines mit solchem Licht erleuchteten Feldes bei fortschreitender Adaptation doch noch so merklich, daſs ich auf die Untersuchung desselben nicht gern überhaupt verzichten wollte. Ich habe mich daher hier darauf beschränken müssen, die Lichtstärke so weit herabzusetzen, als es mit einer leidlichen Sicherheit der Bestimmungen noch irgend vereinbar schien, muſs aber bemerken, daſs das Feld hierbei stets einen merklichen rothen Schimmer hatte.

Man wird hiernach sagen müssen, daſs wir für die strenge Erreichung des oben theoretisch formulirten Zweckes keine ganz

scharfen Kriterien besitzen, und dafs er bei dem einen Licht (Roth) sicher nicht ganz streng erreicht war; ich kann also die Bedingungen dieser Versuche nur dahin angeben, dafs die benützten Lichter relativ schwache, entweder unter der Farbenschwelle bleibende oder nur äufserst wenig über sie hinausgehende waren. Indessen genügt, wie die Beobachtungen sogleich ergaben, diese Fixirung der Bedingungen, um zu durchaus einfachen und unzweideutigen Resultaten zu gelangen. Dieselben sind in der folgenden Tabelle I zusammengestellt, deren obere Horizontal-

Tabelle I.

Abhängigkeit der Verschmelzungsfrequenzen von der Adaptation bei sehr schwachen Lichtern.

Dauer der Dunkeladaptation (in Minuten)							
5	10	15	25	35	50	70	90
Li-Licht. Spaltweite 21,0							
12,78	12,64	12,90	13,14	13,92	14,52	14,50	14,96
11,52	12,52	12,78	13,90	14,18	14,28	14,54	14,58
11,78	12,40	12,88	13,50	14,00	14,13	14,27	14,50
12,00	13,14	13,26	14,08	13,90	15,00	14,87	15,00
12,80	13,08	12,92	14,00	14,38	14,18	14,37	14,67
13,28	13,00	13,65	14,16	14,42	14,87	14,67	14,87
12,36	12,80	13,07	13,80	14,13	14,50	14,54	14,73
Na-Licht. Spaltweite 4,5.							
10,87	11,78	13,26	14,67	14,38	15,35	15,87	15,50
10,40	11,24	12,32	13,65	13,23	15,20	16,42	15,85
10,80	11,92	12,64	13,65	14,00	14,87	15,02	15,28
10,45	10,70	12,32	12,90	14,52	14,38	14,87	15,17
9,85	10,52	11,13	13,50	13,80	14,90	15,20	16,00
9,25	10,59	12,90	14,23	14,52	15,32	15,02	15,28
10,27	11,29	12,43	13,77	14,08	15,01	15,40	15,51
Das Licht von 510,5 $\mu\mu$ Wellenlänge. Spaltweite 6,0.							
	10,72	12,53	14,23	15,35	16,23	16,23	16,42
	11,50	13,80	14,52	15,68	16,06	15,87	16,42
	10,34	13,40	14,67	16,06	16,06	16,63	16,63
	11,78	13,50	14,87	15,30	16,23	16,23	16,83
	12,00	13,14	14,87	15,92	16,29	17,02	17,24
	12,20	13,80	15,02	15,87	16,40	16,27	16,83
	11,42	13,36	14,70	15,70	16,21	16,38	16,73

reihe die Zahl der Minuten vom Beginn der Dunkeladaptation angiebt; in Fig. 2 sind sie graphisch veranschaulicht. Man ersieht ohne Weiteres, daſs die Verschmelzungsfrequenzen durch-

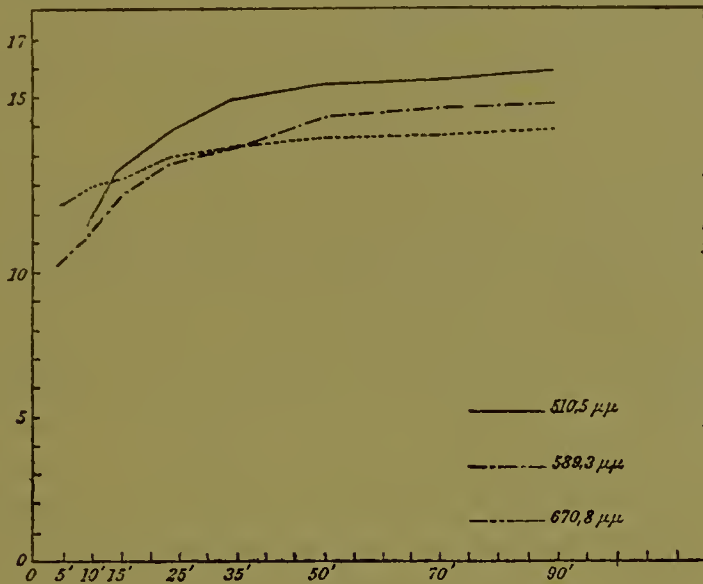


Fig. 2.

Abhängigkeit der zum Verschwinden des Flimmerns erforderlichen Frequenz des Lichtwechsels von der Adaptation bei sehr schwachen Lichtern.

Die Abscissen sind die Zeiten der Dunkeladaptation in Minuten, die Ordinaten die Zahlen der Lichtintermission pro Secunde.

——————— für Licht von 510 μμ
.—.—.—. für Licht von 589,3 μμ
.... für Licht von 670,8 μμ.

weg mit zunehmender Adaptation heraufgehen. Wir können also als erstes und sehr einfaches Ergebniſs den Satz aufstellen: Solange die Bedingungen des Dämmerungssehens vollkommen oder wenigstens sehr annähernd eingehalten sind, steigen die Verschmelzungsfrequenzen mit der Vermehrung der wahrgenommenen Helligkeit nicht blos dann, wenn diese durch Erhöhung der Lichtstärke sondern im gleichen Sinne auch dann, wenn sie durch fortschreitende Dunkeladaptation bewirkt wird. — Die genauere Betrachtung der gewonnenen Zahlen (vergl. die nebenstehende graphische Veranschaulichung) giebt noch zu einigen Bemerkungen Anlaſs. Bei dem höheren Grade der Dunkeladaptation finden wir die Verschmelzungsfrequenz am tiefsten für das rothe, höher

für das gelbe, am höchsten für das grüne Licht, ein sehr begreiflicher Befund, da zufolge der bekannten Eigenschaften dieser Lichter und der für ihre Intensitäten eingehaltenen Bedingungen thatsächlich das grüne Licht in der gröfsten, das rothe in der geringsten Helligkeit gesehen wurde. Handelte es sich um lauter durchweg nur dämmerungssichtbare Lichter, so wäre zu erwarten, dafs das gleiche Verhältnifs auch schon von Anfang der Adaptation an bestünde, die 3 Curven, in ähnlicher Weise ansteigend in der gleichen Lage zu einander blieben. Wenn wir statt dessen bei geringer Dunkeladaptation die Zahlen des rothen Lichtes als die höchsten finden, so wird man dies damit in Verbindung bringen dürfen, dafs gerade hier das Dämmerungssehen kein reines ist, sondern eine Beimischung von Farbenempfindung stattfindet, die natürlich bei der erst beginnenden Dunkeladaptation am stärksten hervortritt. Im Uebrigen mufs allerdings bemerkt werden, dafs dieser Vergleich ein einigermaafsen unsicherer ist, da es unmöglich ist, alle Versuche mit genau dem gleichen Adaptationszustande beginnen zu lassen.

Es sei schliefslich noch darauf hingewiesen, dafs die erhaltenen Zahlen alle relativ niedrig liegen; sie bewegen sich zwischen 10 und 17 pro Secunde.

Nachdem somit innerhalb eines in bestimmter Weise eingeschränkten Gebietes eine sehr einfache Gesetzmässigkeit sich herausgestellt hatte, wandte ich mich der Frage zu, wie sich die Dinge bei höheren Lichtstärken verhalten. Es schien dabei empfehlenswerth, nicht sogleich zu sehr hohen Helligkeiten überzugehen, sondern solche zu wählen, die ein nur mäfsiges Vielfaches der vorhin benutzten darstellen. Zu diesem Zwecke konnte für das gelbe Licht die Spaltweite auf das 3- und das 9fache des in der ersten Versuchsreihe benutzten Werthes gebracht werden (13,5 resp. 40,5 Theilstriche). Für das rothe Licht müfste ich, um nicht auf zu grofse Spaltweiten und zu unreine Lichter zu kommen, anders zu Werke gehen. Hier wurde an Stelle des weifsen Papiers ein Spiegel eingesetzt, wodurch die Erleuchtung des Collimatorspaltes beträchtlich gesteigert wurde. Dieser mufste dann wieder auf eine relativ kleine Weite eingestellt werden. Im Vergleich zu der ersten Versuchsreihe war die Lichtstärke nunmehr beträchtlich gröfser; jedoch war nicht genau bekannt, in welchem Verhältnifs.

Bei den Versuchen dieser Art, die im Uebrigen ganz ebenso wie die vorigen geführt wurden, war nun das Ergebniſs mit vollkommener Constanz das Entgegengesetzte: Die Verschmelzungsfrequenz rückt mit zunehmender Dunkeladaptation herunter. Die numerischen Resultate dieser Versuche sind in den Tabellen II zusammengestellt. In der graphi-

Tabelle II.

Abhängigkeit der Verschmelzungsfrequenz von der Adaptation bei stärkeren Lichtern.

Dauer der Dunkeladaptation (in Minuten)									
2	5	10	15	25	35	50	70	90	120
Li-Licht									
20,90	20,60	18,90	16,06	15,35	15,87	15,02	15,02	15,25	
	18,15	18,40	17,00	15,87	15,02	14,87	14,24	14,67	
20,25	19,45	18,64	15,87	14,87	14,67	14,87	15,02	14,75	
19,44	19,15	18,15	16,05	14,24	15,02	14,67	14,52	15,20	
20,20	19,34	18,52	16,25	15,08	15,15	14,86	14,70	14,97	
Na-Licht. Spaltweite 13,5.									
25,05	22,30	19,15	17,70	18,40	17,74	17,48	17,70	17,85	
24,60	21,00	19,48	18,02	17,70	18,10	17,68	17,50	17,70	
25,05	23,76	21,30	18,40	17,52	17,54	17,34	17,40	17,93	
25,30	24,10	21,30	18,40	18,14	17,93	17,50	17,32	17,48	
25,30	24,00	20,00	18,15	17,93	18,40	17,48	17,70	18,15	
25,06	23,03	20,25	18,13	17,94	17,94	17,50	17,52	17,62	
Na-Licht. Spaltweite 40,5.									
28,05	26,96	26,05	24,64	22,12	20,84	19,44	19,70	19,75	19,80
28,70	27,60	25,60	22,64	21,60	20,15	19,93	19,84	20,30	19,93
29,90	27,60	25,10	24,60	22,30	20,84	20,84	19,70	19,45	19,70
29,10	28,00	26,60	24,00	23,00	22,30	20,24	19,50	19,30	19,70
30,10	27,60	27,00	24,60	22,36	22,00	20,30	19,70	19,84	20,20
29,21	27,55	26,07	24,10	22,28	21,23	20,15	19,69	19,73	19,87

schen Darstellung Fig. 3 habe ich zum Vergleich auch noch diejenigen Curven hinzugefügt, die sich auf die geringen Lichtstärken der ersten Versuchsserie beziehen.

Der hier gefundene, die Verschmelzungsfrequenz herabsetzende Einflufs der Dunkeladaptation läfst sich nun übrigens auch auf mancherlei andere Arten noch einfacher zur An-

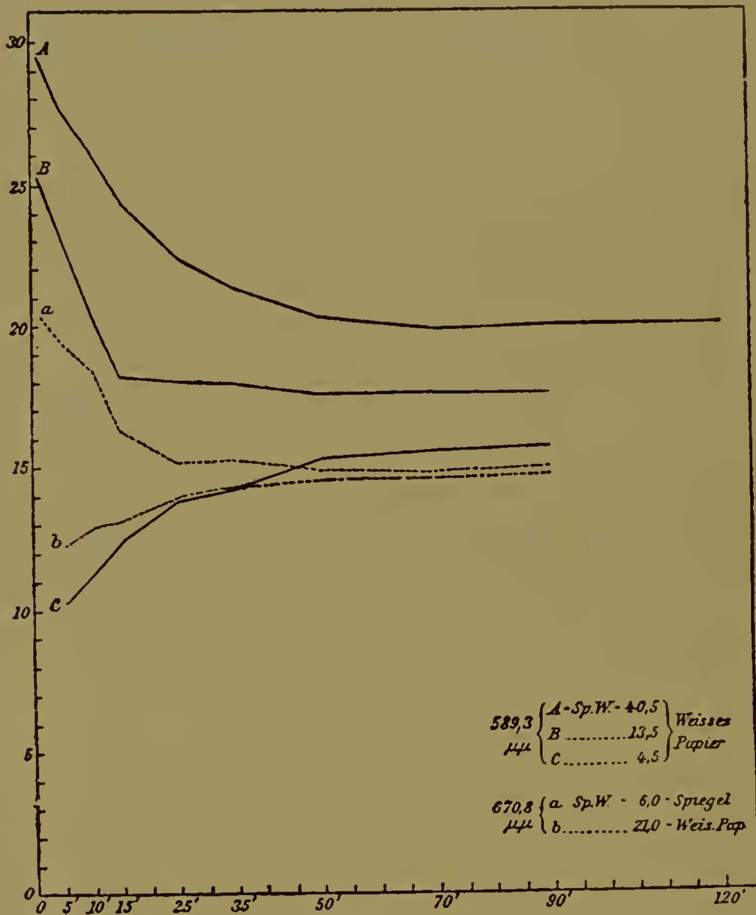


Fig. 3.

Abhängigkeit der Verschmelzungsfrequenzen von der Adaptation für Lichter von verschiedener Stärke.

Als Abscissen sind die Zeiten der Dunkeladaptation, als Ordinaten die Verschmelzungsfrequenzen aufgetragen. *A* das stärkste benutzte, *B* das mittlere, *C* das schwächste gelbe Licht (Spaltweiten 40,5; 13,5 und 4,5); *a* stärkeres, *b* schwächeres rothes Licht.

schauung bringen, namentlich durch Dunkeladaptirung eines Auges und vergleichende Beobachtung mit dem hell- und dem dunkeladaptirten. Betrachtet man einen mit der Hand in Umdrehung gebrachten Rothe'schen Farbenkreisel mit schwarzen und weifsen Sektoren in der angegebenen Weise, so kann man in vielen Fällen ohne Weiteres mit Sicherheit constatiren, dafs der objectiv gleiche Vorgang im helladaptirten Auge noch ein

merkliches Flimmern erzeugt, während das dunkeladaptirte, wiewohl es natürlich eine beträchtlich gröfsere Helligkeit sieht, kein Flimmern mehr wahrnimmt. Oft sind freilich die Differenzen bei dieser Anordnung nicht grofs genug, um eine ganz sichere Beurtheilung zu gestatten. Eine schärfere und in mancher Beziehung auch wohl noch interessantere Gestalt gewinnt der Versuch, wenn man (ähnlich wie es Bloom und Garten bei ihren Untersuchungen über die Sehschärfe gethan haben) für die beiden Augen zwei verschiedene Beleuchtungen anwendet, dergestalt, dafs die die Unterschiede der Erregbarkeit ungefähr ausgeglichen und die gesehenen Helligkeiten in beiden Augen etwa die gleichen werden. Um bei der abwechselnden Beobachtung mit dem einen und anderen Auge die Beleuchtungen schnell wechseln zu können, habe ich die Benutzung eines kleinen Gasbrenners mit doppelter Zuleitung sehr bequem gefunden. Die Beleuchtungen, die geeignet waren, um ein dunkel- und ein helladaptirtes Auge den Kreisel in etwa gleicher Helligkeit sehen zu lassen, wurden in einem oder einigen Vorversuchen ermittelt. Bei diesen ging ich so zu Werke, dafs ich zuerst beide Augen in den Zustand einer jedenfalls nahezu maximalen Dunkeladapation versetzte. Nachdem dies geschehen, wurde das eine Auge (in einigen Versuchen das rechte, in anderen das linke) durch Hinausschauen gegen den hellen Himmel während einiger Minuten helladaptirt, während das andere sorgfältig vor Lichtzutritt geschützt war. Gleich darnach wurde dann der Kreisel abwechselnd mit dem einen Auge bei der einen und mit dem anderen Auge bei der anderen Beleuchtung beobachtet und diese so regulirt, dafs die gesehenen Helligkeiten etwa gleich erschienen. Selbstverständlich ist dies ein Postulat, das immer nur mit einer gewissen Annäherung erfüllt werden kann; auch ändern sich die Verhältnisse während des Versuchsganges merklich, insofern als vom Beginn der Beobachtungen an der Adaptationszustand beider Augen sich ändern und zwar der Anfangs bestehende Unterschied wenigstens zu einem Theile sich ausgleichen mufs. Dies macht sich denn auch darin bemerklich, dafs schon nach kurzer Beobachtung das geforderte Verhältnifs der Beleuchtungen nicht mehr erfüllt erscheint, sondern das helladaptirte Auge eine gröfsere Helligkeit sieht, als das andere. Um dem zu begegnen, habe ich denn auch häufig bei der Regulirung der Beleuchtungen im Vorversuch es so eingerichtet, dafs

die gesehene Helligkeit für das helladaptirte Auge zunächst etwas geringer war. Auch würde jeder Versuch auf eine Dauer von wenigen Minuten beschränkt, indem für jedes Auge nur 2 Einstellungen gemacht wurden (in die Folge *h d h d*). Trotz dieser Unsicherheiten ist das Ergebnifs dieser Versuche ein durchaus unzweideutiges und zwar in dem Sinne, dafs (bei etwa gleicher gesehener Helligkeit) das stark gereizte helladaptirte Auge eine beträchtlich höhere Verschmelzungsfrequenz zeigt als das schwach gereizte dunkeladaptirte. Es wird genügen, die Ergebnisse dieser Versuche so darzustellen, dafs nur die Mittelwerthe zu zweien für das hell- und je zweien für das dunkeladaptirte Auge gemachten Einstellungen aufgeführt werden.

Tabelle III.

Rechtes Auge hell	Linkes Auge dunkel
adaptirt	
48,20	30,13
49,23	29,63
47,28	28,50
45,83	27,25
46,88	28,58
47,65	30,53
48,08	29,78
47,23	29,40
47,55	29,23

Linkes Auge hell	Rechtes Auge dunkel
adaptirt	
48,20	28,95
39,88	26,47
47,13	30,20
50,13	30,43
46,00	30,85
47,23	30,53
46,43	29,57

Ich habe auch hier zum Vergleich ähnliche Versuche mit rothem Licht angestellt; die weifse Scheibe des Kreisels wurde durch eine rothe ersetzt, aufserdem statt der früher benutzten Pulslampe ein lichtstärkerer Argand-Brenner in rothem Cylinder (natürlich auch mit doppelter Zuleitung) benutzt. Auch hier kann die auf der Adaptation beruhende Helligkeitsdifferenz durch einen Wechsel der Beleuchtung annähernd ausgeglichen werden. Wie sich erwarten läfst, sind die Unterschiede, die man hier erhält, relativ gering; dem Sinne nach ist das Ergebnifs aber das gleiche wie für das nahezu farblose Licht. (Tab. IV.)

Tabelle IV. (Rothes Licht.)

Rechtes Auge hell adaptirt	Linkes Auge dunkel adaptirt	Linkes Auge hell adaptirt	Rechtes Auge dunkel adaptirt
24,70	21,30	25,00	20,48
25,88	21,53	24,75	21,30
24,70	21,50	24,45	20,48
24,40	19,82	25,00	20,80
23,90	20,90	24,45	19,65
23,90	20,50	23,65	20,25
27,54	20,93	24,55	20,49

Ueber die theoretische Seite der mitgetheilten Thatsachen wird es genügen, mich mit wenigen Bemerkungen zu äuſsern. Man wird von vorn herein erwarten dürfen, daſs, soweit nur ein bestimmter Bestandtheil des Sehorgans ins Spiel kommt, die Vermehrung seiner Erregbarkeit auch bez. der Flimmererscheinung ungefähr ähnlich wirkt wie die Intensitätssteigerung der Lichtreize. Wenn, was jedenfalls die nächstliegende Annahme ist, der zeitliche Verlauf der Erregungsvorgänge dadurch nicht erheblich beeinfluſst wird, so werden in beiden Fällen etwa übereinstimmend die Oscillationen bei gegebener Frequenz der Intermission umfangreicher sein und die Grenze der Verschmelzung hinaufrücken. — Die Erklärung des entgegengesetzten Einflusses der Adaptation bei den höheren Lichtstärken wird, soviel ich sehe, auf Schwierigkeiten stoſsen, so lange der Sehapparat als ein einheitlicher gedacht wird. Bei den farbigen Lichtern könnte man vielleicht den Erscheinungen durch verwickelte und wenig wahrscheinliche Annahmen (deren specielle Entwickelung wohl überflüssig ist) gerecht zu werden suchen. Weshalb aber zunehmende Adaptation die Verschmelzungsfrequenz auch für weiſses Licht herabsetzt und weshalb hier bei gleicher empfundener Helligkeit das schwach gereizte, dunkeladaptirte Auge eine erheblich niedrigere Verschmelzungsfrequenz besitzt als das stärker gereizte helladaptirte, das wird sich auf dieser Grundlage nicht verstehen lassen, ohne dem betr. Bestandtheil des Sehorganes höchst merkwürdige und schwer faſsbare Eigenschaften zuzuschreiben. — Unter der Annahmen der Stäbchenhypothese sind die Erscheinungen leicht verständlich. Nehmen wir an, was

ohnehin wahrscheinlich ist[1], dafs diese im Vergleich zu dem farbentüchtigen Hellapparat eine gröfsere Trägheit besitzen, so wird ihre Erregbarkeitssteigerung zwar die Verschmelzungsfrequenz hinaufrücken können, so lange es sich um schwache Lichter handelt und der Zapfenapparat ganz aufser Spiel bleibt. Bei Lichtern aber, die auf beide Apparate merklich wirken, wird sich die Verschmelzungsfrequenz nach dem Verhältnifs richten müssen, in dem der beweglichere und der trägere Apparat zusammenwirken, und sie wird heruntergehen müssen, wenn der Antheil des letzteren durch zunehmende Dunkeladaptation mehr und mehr ins Gewicht fällt.

[1] Schon die Beschaffenheit der primären Bilder bewegter Objecte (Ausziehung in einen längeren weifsen Schweif) bei höherer Dunkeladaptation liefs dies vermuthen. Vgl. v. Kries, *diese Zeitschrift* 12, S. 92.

Neue Bestimmungen über die Vertheilung der Dämmerungswerthe im Dispersionsspectrum des Gas- und des Sonnenlichts.

Von

Dr. M. Schaternikoff aus Moskau.

(Mit 4 Fig.)

Die Abhängigkeit der Dämmerungswerthe von der Wellenlänge des Lichtes oder die Helligkeitsvertheilung in einem (bei geringer absoluter Lichtstärke und gut dunkeladaptirtem Auge) farblos gesehenen Spectrum ist schon mehrmals systematisch untersucht worden. Erneute Beobachtungen in dieser Richtung erschienen aber gleichwohl nicht überflüssig, vor Allem, weil die neuerdings ausgebildeten Methoden eine erheblich gröfsere Genauigkeit gestatten als sie in den älteren Versuchen von Nagel [1] und Stark [2] erreicht werden konnte. Das von Stegmann [3] benutzte Verfahren hatte vor den früheren hauptsächlich zwei Momente voraus: 1. die Anordnung der zu vergleichenden Felder nach der Methode des Flecks, d. h. Einschliefsung des einen in das andere, wodurch eine gröfsere Sicherheit der einzelnen Einstellung erzielt wird; 2. die Erleuchtung beider Felder durch dieselbe Lichtquelle, wodurch die Störungen und Schwierigkeiten fortfallen, die beim Helmholtz'schen Farbenmischapparat durch die unvollkommene Constanz der Lichtquellen herbeigeführt werden. Ueberdies war dann auch zu berücksichtigen, dafs, wie Stegmann fand, die Vertheilung der Dämmerungswerthe, wenn auch nur wenig, doch deutlich vom Grade der Adaptation

---

[1] *Diese Zeitschrift* 12, S. 12.

[2] H. Stark. Diss. Freiburg 1898.

[3] Beschrieben bei v. Kries, *diese Zeitschrift* 25, S. 225.

abhängen, weshalb es sich empfahl, neuen Ermittelungen von vornherein die Bedingung maximaler Dunkeladaptation zu stellen. Die nachstehend beschriebenen Versuche in dieser Richtung habe ich auf Anregung von Herrn Professor v. Kries unter seiner sowie des Herrn Professor Nagel freundlicher Leitung und Berathung ausgeführt.

Das von Stegmann benutzte Verfahren bedurfte für meine Zwecke einer Ergänzung insofern, als ich die Wellenlänge des den Fleck erleuchtenden homogenen Lichtes systematisch variiren mufste. Es wäre das einfachste gewesen, zu diesem Zwecke das Collimatorrohr des verwendeten gradsichtigen Spektralapparates zu verschieben. Indessen ist diese Methode nur dann zulässig, wenn die Beleuchtung des Spaltes dabei sicher keine Aenderung erfährt. In unserem Falle mufste die Lichtquelle, schon weil sie auch das den Fleck umgebende Feld beleuchten sollte, seitlich vom Collimator und fest aufgestellt werden. Demgemäfs hätte eine Verschiebung des Collimators leicht erhebliche Fehler bedingen können und ich habe daher vorgezogen, den Ocularspalt verschiebbar zu machen. — Da für die sehr umfangreichen ins Spiel kommenden Unterschiede die blofse Variirung der Spaltbreiten jedenfalls nicht ausreichend war, so habe ich in die Versuchseinrichtung noch einen Episkotister aufgenommen. Die ganze Anordnung gestaltete sich hiernach folgendermaafsen (Fig. 1).

Fig. 1.
Schema der Versuchsanordnung für Gaslicht.
(Erklärung im Text.)

Als gemeinsame Lichtquelle diente eine kleine Gaslampe (sogen. Pulslampe) (Q), welche in einer Blechlaterne (K^1) aufgestellt war, so dass Lichtaustritt nur nach zwei gegen einander senkrechten Richtungen durch entsprechende Röhren (R_1 resp. R_2) möglich war.

Wir wollen zuerst den Lichtweg zum Spectralapparat verfolgen. Das Licht von der Lichtquelle aus gelangte durch ein lichtdichtes Rohrsystem (R_1, A und r_1) an eine Magnesiumoxydfläche (M), welche in einer lichtdichten Metalldose (K_2) so aufgestellt wurde, dafs das auf sie fallendes Licht durch Rohr r_2 in der Richtung nach dem Collimatorspalt (*CSp*) des Spectralapparates hin reflectirt wurde. Ich sehe dabei von der Beschreibung des vielfach schon beschriebenen geradsichtigen Spectralapparates ab, füge nur hinzu, dafs in der Figur 1 L^1 die Collimatorlinse, *Pr* das geradsichtige Prisma, L^2 Objectivlinse und *OSp* Ocularspalt bedeuten. Die Fläche der Linse L^2 erscheint dem Beobachter, welcher durch den Ocularspalt hindurch diese Fläche betrachtet, von einem oder anderen homogenen Lichte je nach Einstellung des Ocularspaltes erleuchtet. Vor der Linse L^2 wurde ein weifses Cartonblatt (*Sch*), das in der Mitte eine kreisrunde Oeffnung hatte, angebracht. In dieser Weise hatte man also das Feld mit einem in der Mitte des Feldes sich befindenden Flecke, welcher von einem zu vergleichenden Lichte beleuchtet werden konnte, wobei die Intensität dieses Lichtes durch entsprechende Verengerung und Erweiterung des Collimatorspaltes, mit Hülfe eines Schnurlaufes sehr bequem variirt werden konnte. Die Spaltweiten wurden an einer von einem elektrischen Lämpchen nach Bedarf zu beleuchtenden Trommeltheilung abgelesen. Die Zahlen konnten durch eine passend aufgestellte Linse vom Beobachtungsplatze aus gesehen werden. Ich komme nunmehr zu der Beleuchtung des Feldes mit dem Vergleichslichte. Zu diesem Zwecke war der Spiegel (*Spieg*) so aufgestellt, dafs er das Licht der Lichtquelle direct auf das Cartonblatt (*Sch*) reflectirte. Es wurde, um alles unnöthige Licht von dem Beobachter fernzuhalten, auf der Verlängerung des Ansatzrohres R_2 der Laterne ein lichtdichtes Blechrohr (*BR*) aufgesetzt, dessen eine dem Spiegel zugewandte Oeffnung mit schwarzem Sammt (T) bedeckt worden war und nur während einer Einstellung selbst geöffnet wurde. Zwischen den Röhren R_2 und *BR* befand sich der Episkotister (*Ep*) aufgestellt, so dafs man durch Variirung des Aus-

schnittes der Episkotisterscheibe die Intensität des auf den Spiegel fallenden Lichtes bequem reguliren konnte. Es bleibt nur übrig, zu erwähnen, dafs der Beobachter durch den Sammtvorhang (*W*) vollständig gegen störendes Licht geschützt worden war.

Die Aufgabe des Beobachters bestand darin nach mindestens 1 Stunde langer Dunkeladaptation, genaue Gleichungen zwischen den farblos gesehenen homogenen Lichtern verschiedener Wellenlänge und dem Lichte der Pulslampe, welches als Vergleichslicht gewählt worden war, einzustellen. Bei diesen Versuchen wäre es wohl wünschenswerth gewesen, eine und dieselbe Spaltweite des Collimators während einer das ganze Spectrum umfassenden Beobachtungsreihe beizubehalten und nur die Intensität des Vergleichslichtes entsprechend zu variiren. Die in dieser Weise gemachten Bestimmungen der Intensität des Vergleichslichtes könnten ohne Weiteres in eine „Curve der Helligkeitswerthe“ zusammengestellt werden. Es ist aber leicht zu sehen, dafs man in diesem Falle bei sehr ungleicher Helligkeit der spectralen Lichter die Intensität des Vergleichslichtes in weiten Grenzen und sehr fein variiren müfste, was praktisch, besonders ohne dabei die Kraft der Lichtquelle selbst zu ändern, sehr schwer zu erreichen ist.

Es wurde deshalb die Beleuchtung des Cartonblattes (*Sch*) während der Beobachtungsreihe so geändert, dafs man stets möglichst wenig von einander abweichende Spaltweite des Collimators benutzte. Wurde also beim Uebergang zu dunkleren Theilen des Spectrums der Spalt zu breit, so ging man zu einer Scheibe des Episkotisters mit kleinerem Ausschnitt, beim Uebergang zu helleren Theilen des Spectrums ging man zu einer Scheibe mit gröfserem Ausschnitt oder liefs man den Episkotister ganz fort. Dadurch gelang es, sich in den Grenzen zwischen 15 und 30 der Mikrometertheilung zu halten und nur bei Lichtern von der Wellenlänge über 650 $\mu\mu$ war es nothwendig zu noch gröfseren Spaltweiten, bis 50—70, überzugehen, obwohl dabei die Episkotisterscheibe nur mit dem Sector von 3^0 angewandt wurde.

Bei gegebenen Episkotistereinstellungen und Spaltweiten war es nachher leicht, die gleichwerthigen Spaltbreiten und daraus die Helligkeitswerthe der betreffenden Lichter zu berechnen.

Es mufs noch, ehe ich zu der Mittheilung der Resultate selbst übergehe, hinzugefügt werden, dafs die Graduirung des

Spectralapparates in üblicher Weise durch die Aufsuchung der Lage der Li, Na, Tl, Sr und Hg(407 $\mu\mu$)-Linien geschah. Die Bestimmung der Hg-Linie wurde mit Hülfe der ARONS-schen Quecksilberbogenlampe ausgeführt. Aus der Lage der eben genannten Linien war nach dem Vorgange von KÖNIG und DIETERICI[1] eine Tabelle für die den Theilstrichen der Scala entsprechenden Wellenlängen auf Grund der CAUCHY'schen Dispersionsformel ausgerechnet. Es versteht sich von selbst, dafs vor und nach jeder Beobachtungsreihe die Lage der Na-Linie controlirt wurde. Die Beobachtung selbst wurde so ausgeführt, dafs man nach eine Stunde langer Dunkeladaptation die Gleichungen für alle in nächstfolgender Tabelle angeführte Spectrallichter successive einstellte. Jede einzelne Gleichung wurde immer zweimal eingestellt, indem man einmal von hellerem Feld und dunklerem Fleck, sodann von dunklerem Feld und hellerem Fleck ausging. Die Mittelzahl aus diesen zwei Einstellungen wurde als erstes Resultat angenommen. Dann nach $^1/_2$ stündiger Ruhepause (ohne natürlich dabei die Dunkeladaptation zu unterbrechen) wiederholte man die Bestimmungsreihe von Neuem und die mittleren Zahlen aus den Resultaten zweier Bestimmungsreihen galten als endgültiges Resultat der Beobachtungsreihe.

In der Tabelle I sind die mittleren Zahlen der fünf Beobachtungsreihen zusammengestellt. In der ersten Columne ist der spectrale Ort der homogenen Lichter, in der zweiten sind die diesen Lichtern entsprechende Dämmerungswerthe aufgeführt.

Von älteren Versuchsergebnisse ähnlicher Art, die zum Vergleich mit den meinigen herangezogen werden konnten, kamen hauptsächlich diejenigen in Betracht, die v. KRIES und NAGEL mitgetheilt haben. Diese geben (a. a. O. S. 12) eine Curve, die einer von ihnen für vorzugsweise zuverlässig gehaltenen Versuchsreihe angehört, aufserdem sind noch durch Kreuze „die mittleren Ergebnisse zahlreicher älterer Bestimmungen“ angegeben. In der graphischen Darstellung (Fig. 2) giebt die ausgezogene Linie meine Ergebnisse; dieser sind zum Vergleich die beiden eben erwähnten Zusammenstellungen von v. KRIES und NAGEL hinzugefügt (unterbrochene Curve und Kreuze). Meine Resultate stimmen, wie man sieht, mit den letzteren fast genau zusammen,

[1] A. KÖNIG und C. DIETERICI. Die Grundempfindungen in normalen und anormalen Farbensystemen und ihre Intensitätsvertheilung im Spectrum. *Diese Zeitschrift* 4, S. 246.

Tabelle I.

Spectraler Ort der homogenen Lichter Liα = 0	Dämmerungswerthe	Spectraler Ort der homogenen Lichter Liα = 0	Dämmerungswerthe
0 (670,8 $\mu\mu$)	18,0	11 (529,3 $\mu\mu$)	2736,0
1 (651,8)	36,5	12 (522,3)	2532,3
2 (634,3)	83,3	13 (515,4)	2219,3
3 (618,1)	216,9	14 (508,7)	1944,0
4 (603,1)	423,2	15 (502,2)	1475,8
5 (589,3)	881,7	17 (490,0)	1016,0
6 (577,1)	1424,9	19 (478,6)	633,0
7 (566,4)	2110,7	21 (468,0)	364,5
8 (556,0)	2609,7	23 (458,7)	208,8
9 (546,0)	2899,0	25 (451,1)	111,2
10 (537,2)	3000,0	27 (443,9)	69,6

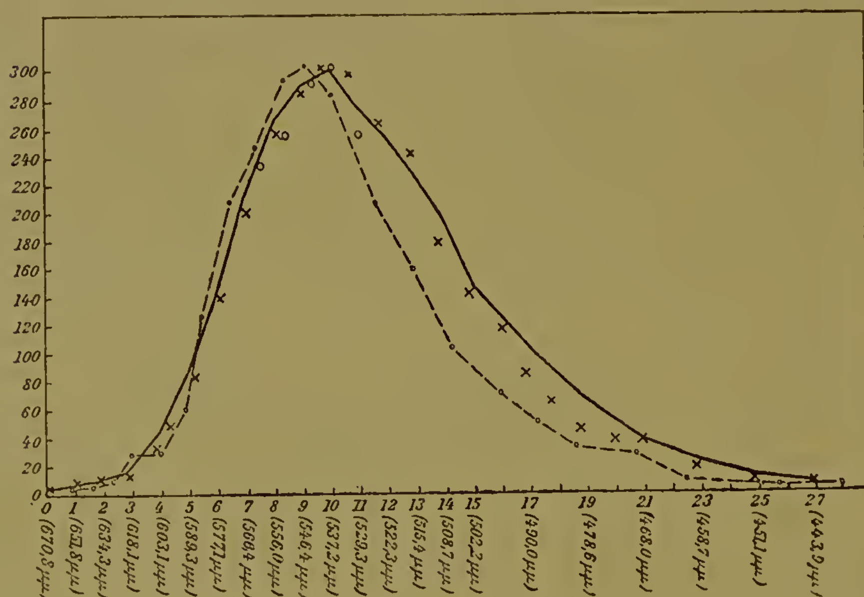


Fig. 2.
Vertheilung der Dämmerungswerthe im Dispersionsspectrum des Gaslichts.
——————— meine Beobachtungen, · ······ ·· · Beobachtungen von W. Nagel, ××××××× und ooooooooo andere Beobachtungen von W. Nagel. (s. Text.)

während sie von den ersteren ein wenig differiren. Im Ganzen aber darf die Uebereinstimmung wohl eine sehr gute genannt werden und man wird hierin eine Bestätigung dafür erblicken dürfen, dafs auch die früher benutzten umständlicheren und mit manchen Schwierigkeiten behafteten Methoden bei sorgsamem Verfahren recht gute Resultate geben konnten. Von einer Erörterung der Gründe auf die die kleinen sich herausstellenden

Abweichungen, namentlich die bei mir etwas mehr nach rechts geschobene Lage des Curvengipfels etwa zurückzuführen sein mögen, glaube ich umsomehr absehen zu dürfen als spätere speciell auf die Gegend des Gipfels erstreckte Versuche[1] auch Herrn NAGEL Werthe lieferten, die mit den meinigen fast vollkommen übereinstimmen. Ich habe diese Werthe in der Fig. 2 durch kleine Nullen angedeutet.

Mangelhaft ist die Uebereinstimmung in den Endstrecken des Spectrums, und ich möchte bemerken, dafs ich hier auch für meine Werthe keine unbedingte Zuverlässigkeit mehr in Anspruch nehmen kann. Die für die Zerlegung des Lichtes unentbehrlichen optischen Hülfsmittel geben nämlich unter allen Umständen eine gewisse Menge diffusen Lichtes, welches sich überall dem zu untersuchenden spectralen beimischt und für die schon sehr lichtschwachen Endstrecken des Spectrums gröfsere Fehler bedingen kann.

Im Anschlufs an die Untersuchung des Gaslichtsspectrums habe ich nach derselben Methode auch das Dispersionsspectrum des Sonnen- resp. Tageslichtes untersucht. Die Versuchsanordnung ist in der Fig. 3 schematisch abgebildet.

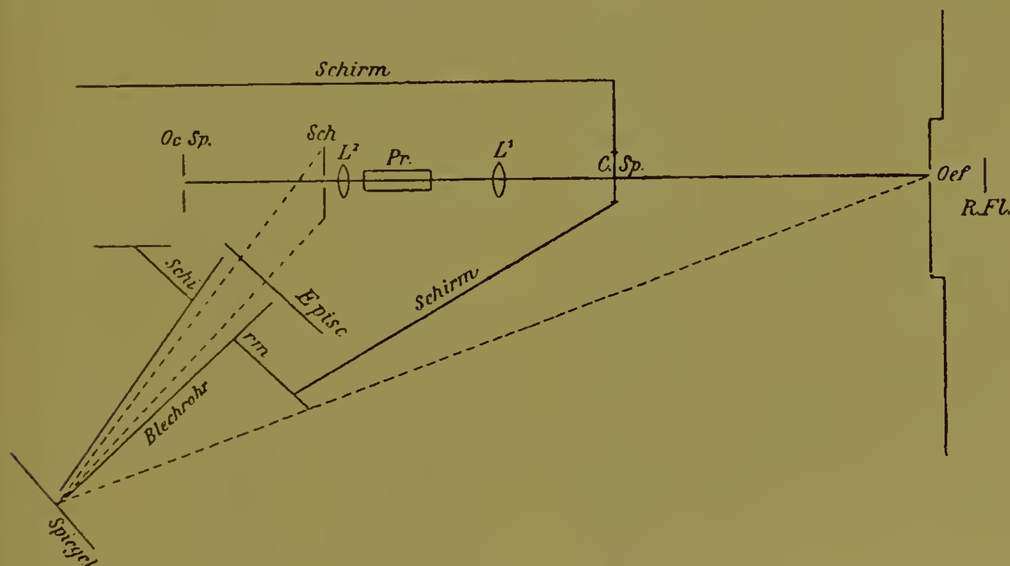


Fig. 3.
Schema der Versuchsanordnung für Tages- resp. Sonnenlicht. (Erklärung im Text.)

Eine Magnesiumoxydfläche (*RFl*) war aufsen auf dem Fenstergesims aufgestellt und reflectirte das Licht durch eine im Fenster-

[1] Mitgetheilt bei STARK a. a. O. S. 21.

laden sich befindende und mit Irisdiaphragma versehene kreisrunde Oeffnung (*Oef*) in das Beobachtungszimmer. Die Oeffnung war mit Mattscheibe bedeckt und diente in dieser Weise als Lichtquelle. Die ganze übrige Versuchsanordnung ist aus der Fig. 3 leicht zu ersehen. Es ist kaum nöthig zu erwähnen, daſs der Beobachter durch entsprechend aufgestellte Schirme und Vorhänge gegen das Einfallen des Lichtes aufs sorgfältigste geschützt war.

Es wurden zwei Reihen der Beobachtungen ausgeführt: in der ersten wurde die Magnesiumoxydfläche nur vom blauen Himmelslicht, in der zweiten direct von der Sonne beleuchtet.

Die mittleren Zahlen dieser Versuchsreihen nebst Angaben des spectralen Ortes des betreffenden Lichtes sind in der Tabelle II zusammengestellt.

Tabelle II.

Spectraler Ort der homogenen Lichter $Li\alpha = 0$		Dämmerungswerthe: Blaues Himmelslicht	Dämmerungswerthe: Directes Sonnenlicht
0	(670,8 $\mu\mu$)	7,7	5,9
1	(651,8)	12,5	10,5
2	(634,3)	22,2	33,3
3	(618,1)	70,7	86,3
4	(603,1)	189,0	214,4
5	(589,3)	411,0	459,0
6	(577,1)	725,0	752,0
7	(566,4)	1369,0	1535,0
8	(556,0)	2019,0	1933,0
9	(546,0)	2578,0	2546,0
10	(537,2)	3000,0	3000,0
11	(529,3)	3213,0	3353,0
12	(522,3)	3060,0	3067,0
13	(515,4)	2959,0	2833,0
15	(502,2)	2758,0	2460,0
17	(490,0)	2067,0	1935,0
19	(478,6)	1497,5	1205,0
21	(468,0)	1224,0	945,0
23	(458,7)	830,0	658,0
25	(451,1)	580,0	399,0
27	(443,8)	299,0	212,0
29	(437,0)	160,0	112,0
31	(430,4)	69,0	46,0

Figur 4 giebt eine graphische Veranschaulichung der in der Tabelle II dargestellten Resultate.

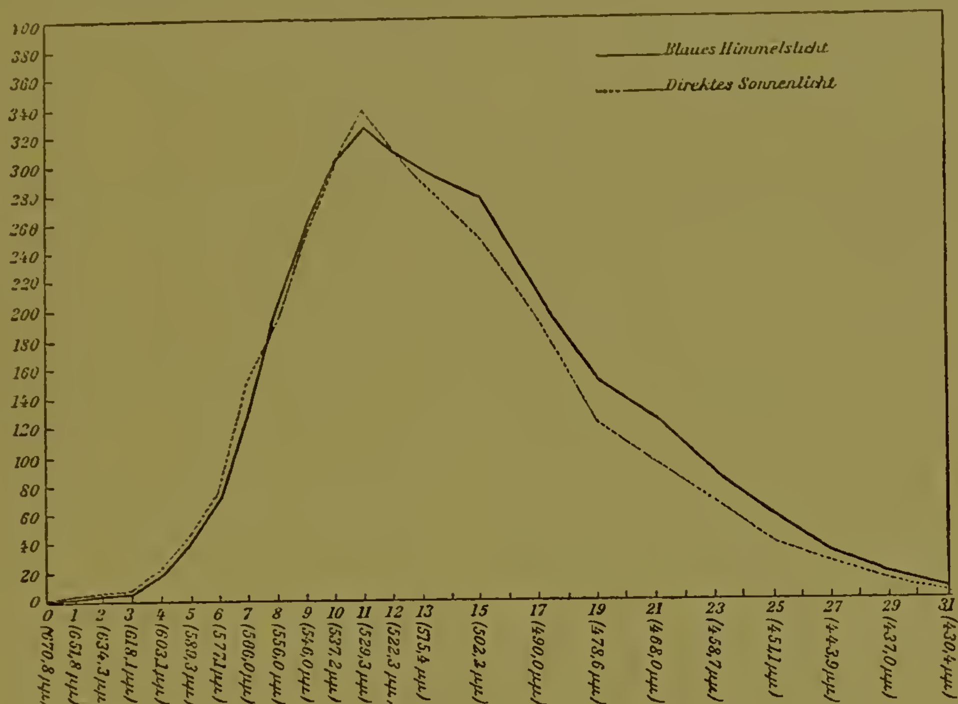


Fig. 4.

Vertheilung der Dämmerungswerthe im Dispersionsspectrum des Sonnen- (resp. Tages-) Lichtes.

——————— Magnesiumoxydfläche von blauem Himmelslicht bestrahlt,

··············· desgl., direct von der Sonne beschienen.

Wie der Vergleich der Curven zeigt, ist deren Gang in der linken Hälfte fast der gleiche, in der rechten dagegen weicht er auseinander derart, dafs die dem directen Sonnenlichte zugehörige Curve steiler abfällt, als die des blauen Himmelslichtes.

Bei dem Vergleich der Curve der Fig. 2 mit denen der Fig. 4 sieht man, dafs das Maximum der letzten erheblich nach rechts verschoben ist und bei dem Lichte von 529,3 μμ Wellenlänge liegt, worin der bekannte Unterschied des Gas- und des Sonnenlichtes sich ausdrückt.

———

Druck von Lippert & Co. (G. Pätz'sche Buchdr.), Naumburg a. S.